EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

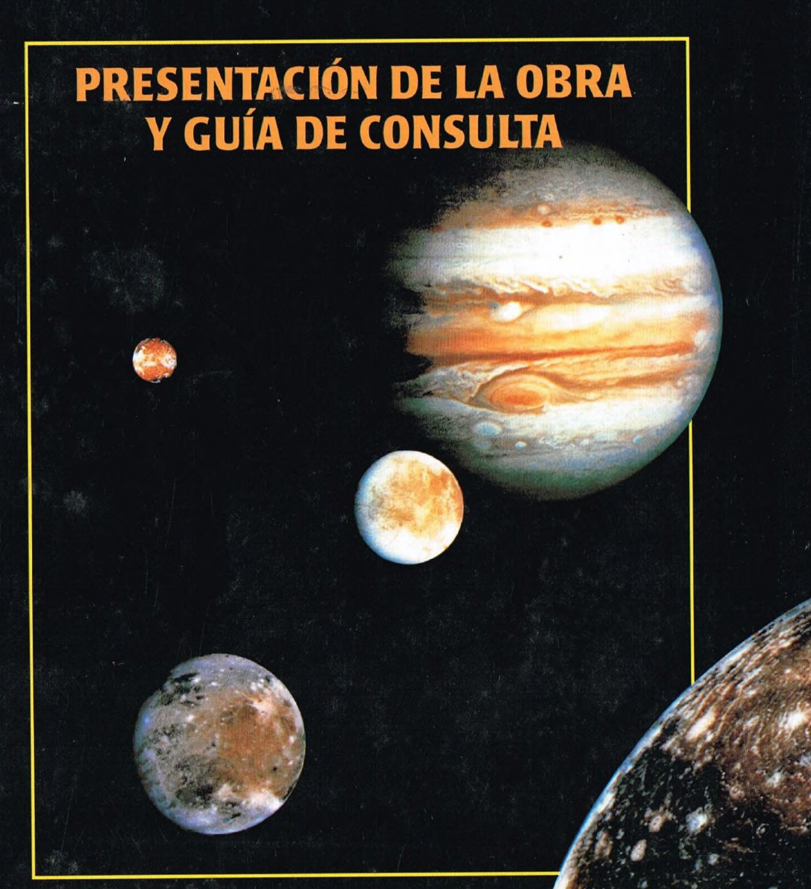
Volumen



PLANETA D'AGOSTINI

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO



PRESENTACIÓN DE LA OBRA Y GUÍA DE CONSULTA

PLANETA DeAGOSTINI

EL SISTEMA SOLAR

¿Qué es el sistema solar? ¿Cuándo y cómo se formó? ¿De qué está compuesto? ¿Qué transformaciones sufrirá? Centrada en el astro Sol, en torno al cual giran la Tierra y los otros planetas, esta sección trata una materia de interés excepcional.

ESTRELLAS Y GALAXIAS

Tema enormemente sugestivo, fascinante objeto de estudio por parte de los astrónomos y de admirada observación por parte de los aficionados, las estrellas y las galaxias nos permiten escrutar los confines del Universo.



GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

¿Cómo y cuándo contemplar las constelaciones en el cielo nocturno? ¿Cómo localizarlas en la bóveda celeste? ¿Cómo reconocerlas? ¿Qué puntos de referencia utilizar y a qué instrumentos recurrir?



EL UNIV

ENCICLOPEDIA DE LA AS

Un fantástico viaje que, a través de seis secciones, le llevará a conocer las leyes y los secretos del cosmos.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

ANDRÓMEDA

En la mitología griega, Andrómeda era la hija del rey Cefeo y de la reina Casiopea. Ésta ofendió al rey del mar, Poseidón, al afirmar que era la más bella de todas las Nereidas. Poseidón se enfureció y Cefeo, para aplacar su ira, encadenó a Andrómeda a una roca y la dejó como pasto para un monstruo que asolaba la región. Cuando el monstruo estaba a punto de devorarla, acudió Perseo, quien la salvó a cambio de que Cefeo le permitiera casarse con ella. El permiso le fue concedido, y el episodio concluyó felizmente.

La contemplación del firmamento ha estado vinculada al mito en diversas etapas de la civilización humana: de la Grecia clásica a la cultura de los indios americanos, de las leyendas orientales a los cuentos africanos.

PERSONAJES

GERARD PETER KUIPER



1905 - 1973

Gerard Peter Kuiper fue un excepcional astrónomo de origen holandés que volvió a poner de actualidad la astronomía del sistema solar cuando la mayor parte de los científicos sólo mostraban interés por el estudio de las estrellas y las galaxias lejanas.

Kuiper realizó numerosos descubrimientos en el campo de la investigación planetaria: la atmósfera de metano de Titán, la tenue atmósfera de dióxido de carbono de Marte, un quinto satélite de Urano (Miranda) y un segundo satélite de Neptuno (Nereida).

En 1960, Kuiper fundó el Lunar and Planetary Laboratory de la Universidad de Arizona, en Tucson (Estados Unidos), dedicado al estudio del sistema solar.

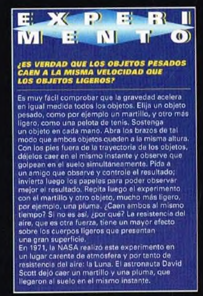
El nombre de Kuiper está asociado a tres cráteres, que se encuentran en Mercurio, la Luna y Marte, y a una región situada más allá de Plutón conocida como cinturón de Kuiper.

Grandes astrónomos del pasado y científicos contemporáneos. Los principales estudiosos que han contribuido al progreso de la astronomía, en fichas de fácil consulta.

ERSO

TRONOMÍA Y EL ESPACIO

Innumerables datos científicos y técnicos, fotografías únicas, dibujos espectaculares y textos actualísimos sobre el estado de los conocimientos astronómicos, el desarrollo de los experimentos en curso y los desafíos del futuro. Y además...



EXPERIMENTO

¿ES VERDAD QUE LOS OBJETOS PESADOS CAEN A LA MISMA VELOCIDAD QUE LOS OBJETOS LIGEROS?

Es muy fácil comprobar que la gravedad acelera en igual medida todos los objetos. Elija un objeto pesado, como por ejemplo un martillo, y otro más ligero, como una pelota de tenis. Sostenga un objeto en cada mano. Abra los brazos de tal modo que ambos objetos queden a la misma altura. Con los pies fuera de la trayectoria de los objetos, déjelos caer en el mismo instante y observe que golpean en el suelo simultáneamente. Pida a un amigo que observe y controle el resultado; invierta luego los papeles para poder observar mejor el resultado. Repita luego el experimento con el martillo y otro objeto, mucho más ligero, por ejemplo, una pluma. ¿Caen ambos al mismo tiempo? Si no es así, ¿por qué? La resistencia del aire, que es otra fuerza, tiene un mayor efecto sobre los cuerpos ligeros que presentan una gran superficie.
En 1971, la NASA realizó este experimento en un lugar carente de atmósfera y por tanto de resistencia del aire: la Luna. El astronauta David Scott dejó caer un martillo y una pluma, que llegaron al suelo en el mismo instante.

Una serie de experimentos que pueden realizarse en casa, poniendo en práctica las nociones expuestas en la obra.



DATOS

HST (telescopio espacial Hubble)

Fecha de lanzamiento: 25 de abril de 1990
Vehículo lanzador: transbordador espacial Discovery
Longitud: 13,3 m
Diámetro: 4,3 m
Anchura total: 12 m
Peso: 11 toneladas
Órbita: casi circular, 612 x 620 km

Los principales datos técnicos de los objetos celestes, de los instrumentos y de los medios de exploración del espacio.

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO



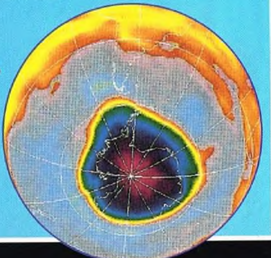
● Las leyes, las nociones básicas y las teorías de la ciencia astronómica expuestas de modo riguroso y comprensible para todos: desde la relatividad hasta la óptica, desde la medida del espacio y el tiempo hasta la ley de la gravitación universal, desde la presión hasta los estados de la materia.

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

● La cautivadora aventura del hombre en el espacio a través del relato de las exploraciones realizadas hasta ahora y de la proyección de lo mucho que todavía queda por hacer. Una historia hecha de esperanzas y emociones, entretejida con exultantes triunfos y con alguna dolorosa derrota.

EL USO DEL ESPACIO

● ¿Cómo el hombre utiliza el espacio? ¿Cómo espera utilizarlo? ¿Con qué proyectos, con qué consecuencias, con qué fines? Ésta es hoy –y lo será cada día más– la nueva frontera de la civilización moderna.



EL SISTEMA SOLAR



EL SISTEMA SOLAR 27

LA LUZ DE LA VIDA

El Sol es una fuente de energía que domina el sistema solar. Su fuerza de gravedad mantiene los planetas en órbita, y su calor posibilita la vida en la Tierra.

Por término medio, la Tierra dista del Sol unos 150 millones de km, distancia que la luz recorre en 8 minutos. Las demás estrellas se encuentran más lejos: por ejemplo, la luz procedente de *Proxima Centauri* (la estrella más cercana al Sol) tarda más de cuatro años en recorrer la distancia que la separa del astro.

Las observaciones científicas efectuadas indican que el Sol es una estrella de tamaño medio y luminosidad media, y que en el cielo hay innumerables estrellas más grandes y brillantes. Entonces, ¿por qué el Sol nos parece tan luminoso y caliente? Porque está muy cerca de nuestro planeta.

UNA ESFERA DE GAS

El Sol es una enorme esfera de gas incandescente, compuesta esencialmente de hidrógeno y helio, con un diámetro de 1,4 millones de km. La magnitud del Sol es tal que en su interior caben cerca de un millón de planetas, y para igualar su diámetro, sería necesario colocar 109 planetas como la Tierra uno al lado del otro.

En el centro de la estrella se encuentra el núcleo, cuya temperatura alcanza los

En la superficie del Sol, intensos campos magnéticos producen erupciones de gases muy calientes. En la fotografía sobre estas líneas se ven chorros de gas que siguen las líneas del campo magnético solar y dan origen a protuberancias en forma de arco.

en llegar a la superficie del Sol: unos 10 millones de años.

EL INTERIOR DEL SOL

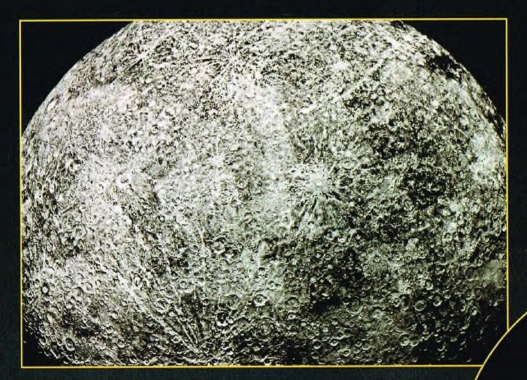
La energía radiante, que se difunde desde

LA ESTRUCTURA DEL SOL

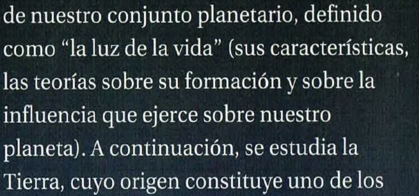
El Sol es una enorme esfera de gas que puede subdividirse en diferentes zonas o estratos. En el centro se encuentra el núcleo, donde el hidrógeno se transforma en helio a través de un proceso de fusión nuclear. La energía liberada en este proceso pasa de la zona radiativa a la zona convectiva y finalmente de ésta a los estratos más exteriores del Sol, produciendo numerosas y espectaculares formas visibles en la superficie del astro.

Una amplia visión del Sol y los planetas

¿Cómo se ha formado el sistema solar? ¿Cuál es su historia? ¿Qué previsiones e hipótesis han elaborado y elaboran los estudiosos sobre su eventual evolución y transformación? Después de ofrecer una visión panorámica de los cuerpos celestes que lo constituyen, se describe detalladamente el Sol, el gran protagonista







de nuestro conjunto planetario, definido como “la luz de la vida” (sus características, las teorías sobre su formación y sobre la influencia que ejerce sobre nuestro planeta). A continuación, se estudia la Tierra, cuyo origen constituye uno de los temas más interesantes.

Y, finalmente, uno tras otro, los ocho planetas que, junto con la Tierra, giran alrededor del Sol; las principales formaciones que los acompañan; los resultados de las últimas observaciones; los asteroides, los satélites y los anillos; los cometas; los sistemas planetarios de otras estrellas, hasta llegar a la última y fascinante pregunta: ¿es posible encontrar otras Tierras?



EL SISTEMA SOLAR 22

ATOS

el ecuador: 1.392.000 km
evolución alrededor del
Galaxia: 225 millones

tación (en el ecuador):

to a la Tierra): 332.946
specto a la Tierra):

de la superficie: 5.770 °C
del núcleo: 14.000.000 °C
la superficie (respecto a

Inclinación axial: 7,25°

Rotación diferencial

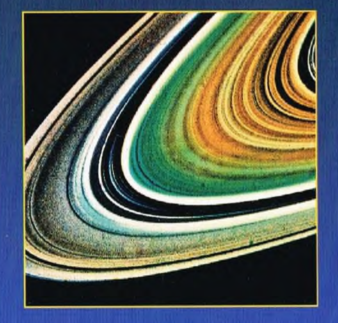
ferencial explica el hecho de que la masa gaseosa del Sol
velocidades; 25 días en el ecuador y 34 en los polos.

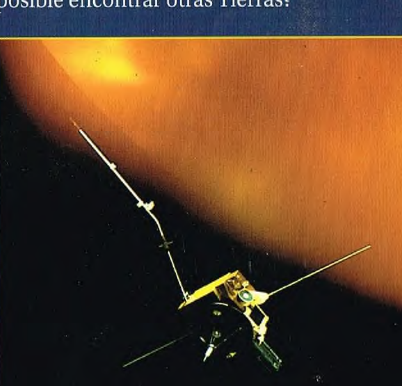
hasta la zona convectiva. La parte superior de estas columnas de gas forma unos penachos, conocidos como gránulos, de cientos de kilómetros de diámetro, de los que hay millones en la fotosfera. Su vida media es de sólo 10 minutos, por lo que la superficie del Sol está cambiando constantemente.

LA CROMOSFERA

Tras la fotosfera está la cromosfera (esfera coloreada), de color rojizo, compuesta básicamente de hidrógeno gaseoso. La cromosfera es difícil de observar porque se encuentra junto a la deslumbrante fotosfera. Las mejores ocasiones para hacerlo se presentan durante los eclipses totales de Sol, cuando la fotosfera está oscurecida por la Luna.

Los gases de la cromosfera no están distribuidos de forma uniforme como en las atmósferas de los planetas sino concentrados en algunas regiones alrededor de las manchas solares, que son zonas más frías, donde forman unas densas nubes de gas llamadas fáculas.



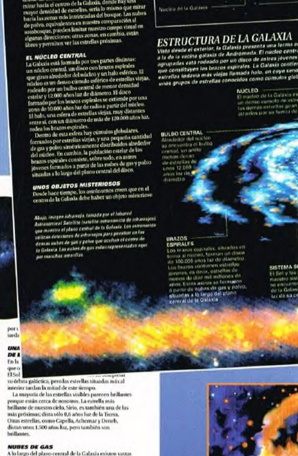




ESTRELLAS Y G

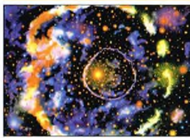
Una expedición a los confines del Universo

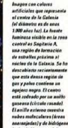
El origen, la formación y la evolución de las estrellas y las galaxias se analizan tanto desde la perspectiva de los conocimientos adquiridos por la astronomía en el transcurso de su largo recorrido histórico como desde el punto de vista de las investigaciones en curso. El primer capítulo, dedicado al Big Bang, se centra en la hipótesis más extraordinaria de la astronomía: el origen del Universo a partir de



28 ESTRELLAS Y GALAXIAS

LA VÍA LÁCTEA





Nuestra Galaxia aparece en el cielo nocturno como una franja brillante repleta de estrellas: la Vía Láctea.

UNA FRANJA BRILLANTE

UNA ESTRUCTURA EN FORMA DE ESPIRAL

EL PRIMER MAPA DE LA GALAXIA



NUBES DE GAS



EL CINTURÓN DE GOULD

ALAXIAS

un minúsculo “embrión cósmico”. La Vía Láctea, la materia interestelar, los agujeros negros, los catálogos estelares y la clasificación de los astros, el estudio de nuestra galaxia y de las galaxias externas, los cuásares, la expansión del Universo y las hipótesis más acreditadas sobre su futuro son sólo algunos de los temas tratados.

La sección presenta los aspectos más apasionantes de la astronomía, entendida como ciencia de lo infinitamente lejano.



29

que se sustrae a nuestra mirada por las nebulosas que se interponen.

Los científicos utilizan radiotelescopios, telescopios de infrarrojos y telescopios de rayos X para atravesar esta densa nube de polvo y gas, y estudiar lo que se encuentra más allá. Imágenes obtenidas con estos instrumentos revelaron la presencia de una intensa radiofuente hacia el centro de la Galaxia, al parecer más pequeña que la órbita de Saturno alrededor del Sol, pero muchísimo más masiva que nuestra estrella.

El enigma se ha resuelto hace muy poco. Observaciones realizadas desde el Observatorio Europeo Austral, en Chile, han seguido el movimiento de 39 estrellas situadas a menos de dos años luz de la fuente de radioondas. De ellas se deduce que en el centro de la Galaxia existe un enorme agujero negro, una región del espacio de gravedad tan elevada que nada puede escapar de ella, pero que se delata por la atracción gravitatoria que ejerce sobre otros astros. Este agujero negro del centro de la Galaxia tiene una masa de dos millones y medio de soles concentrada en una esfera poco mayor que el Sol. De todos modos, el objeto no es ni mucho menos de los mayores a escala cósmica, pues se sabe de agujeros negros en otras galaxias cuatrocientas veces más masivos.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

LA VÍA LÁCTEA
La franja opalescente de la Vía Láctea está formada por millones de estrellas densamente agrupadas y no es visible en su integridad desde ningún punto de la Tierra. Durante el período del año más favorable a la observación, las regiones más brillantes próximas al centro de la Galaxia ofrecen a simple vista un maravilloso espectáculo desde ambos hemisferios.

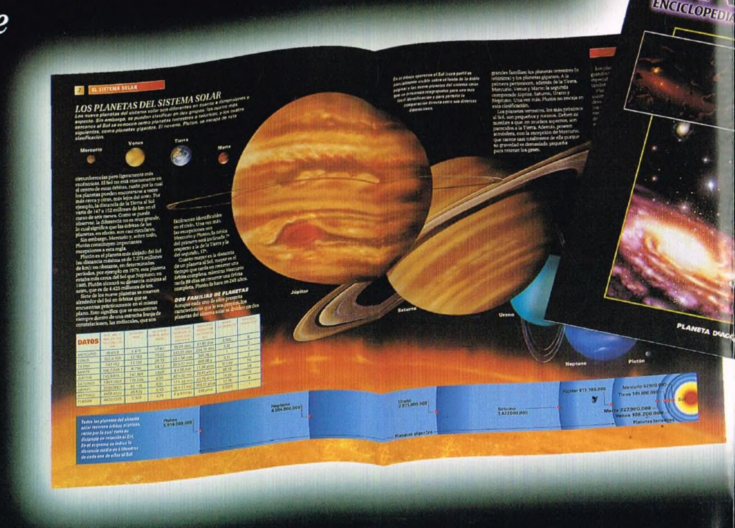
EN EL HEMISFERIO NORTE
En el hemisferio norte el mejor período para observar la Vía Láctea es el mes de agosto. El centro de la Galaxia es visible en la parte baja del cielo hacia el sur. Entrado el año, la Vía Láctea se encuentra a primeras horas de la noche sobre la cabeza del observador, pero en enero sólo se puede ver la parte menos brillante opuesta al centro.

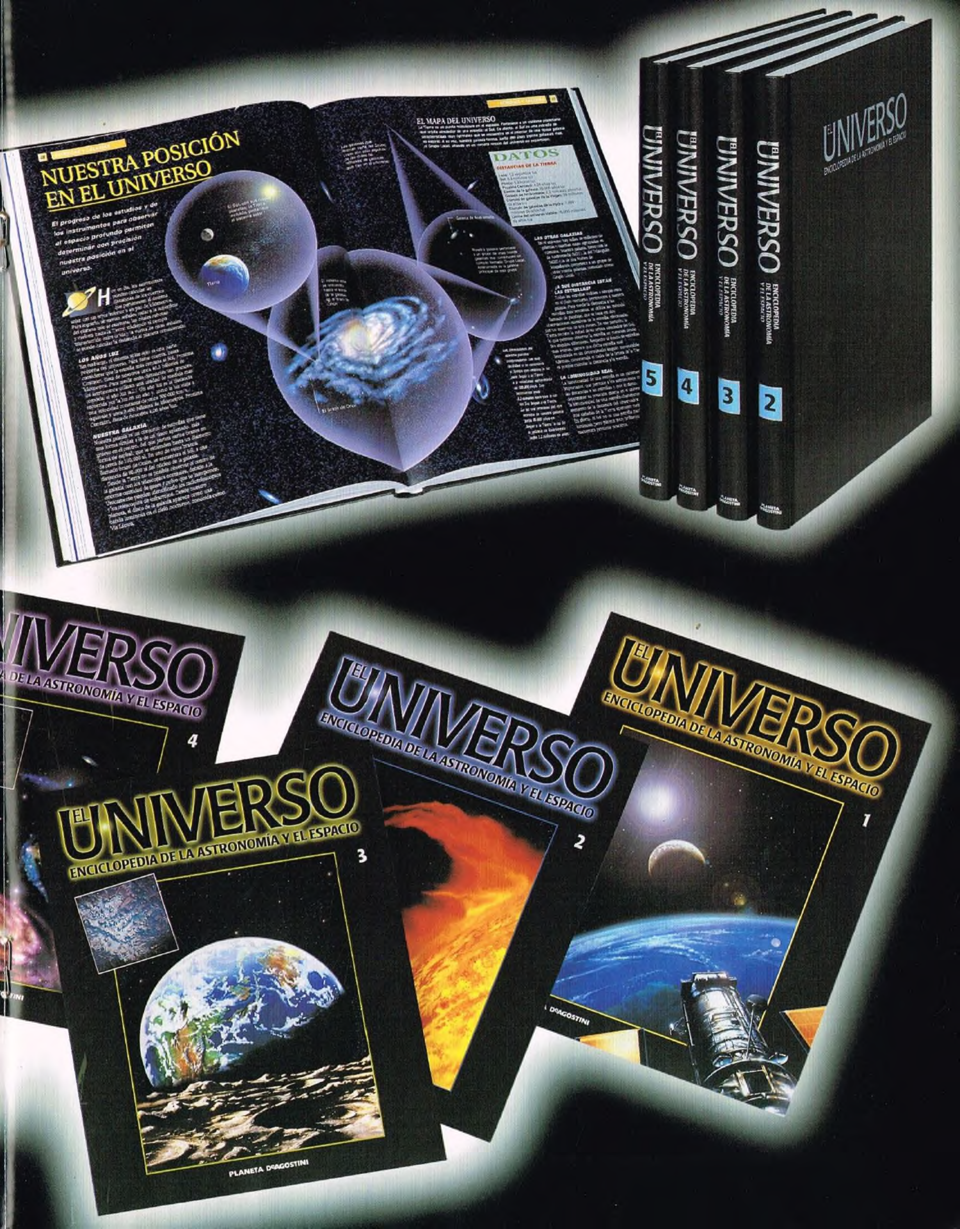
EN EL HEMISFERIO SUR
Para los habitantes del hemisferio sur, los mejores meses para observar la Vía Láctea son también los de julio y agosto, cuando el centro de la Galaxia, situado en la constelación de Sagitario, se encuentra a gran altura en el cielo. Durante la primera parte del año se pueden observar las regiones más oscuras de las constelaciones de la Popa y de la Vela, donde la Vía Láctea es menos espectacular.



Una guía fiel, completa y actual para explorar el espacio y el tiempo.

Una obra de amplio alcance en la cual el riguroso contenido científico y la espectacularidad de las imágenes se funden para ofrecerle un viaje único que le permitirá conocer los secretos del cosmos.

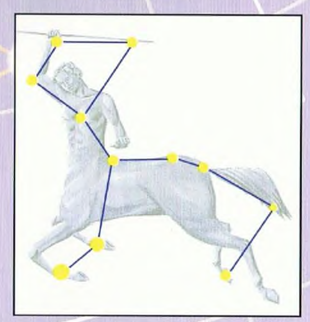



NUESTRA POSICIÓN
EN EL UNIVERSO
El progreso de los estudios y de los instrumentos para observar el espacio profundo permiten determinar con precisión nuestra posición en el universo.
EL MAPA DEL UNIVERSO
DATOS
EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO
5
4
3
2
PLANETA DeAGOSTINI
EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO
1
2
3
4
PLANETA DeAGOSTINI

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES



La observación del cielo estrellado



Esta sección ofrece a los aficionados a la contemplación del cielo nocturno una guía de fácil consulta, con consejos, puntos de referencia e informaciones útiles sobre las 88 constelaciones catalogadas. Además, relata el mito vinculado al nombre y a la forma de las constelaciones y se complementa con una ficha que resume todas las indicaciones necesarias para el observador. Un mapa de las constelaciones acompaña siempre el texto, que a su vez indica cómo interpretarlo y utilizarlo.



29 GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

LA OSA MAYOR

La Osa Mayor, evocada en los relatos tradicionales de muchos pueblos, es una de las constelaciones que más han estimulado la imaginación de los hombres.

Constelación de la Osa Mayor. Las siete estrellas brillantes próximas a la cola de la osa forman el llamado Carro.

La constelación de la Osa Mayor es también una de las más grandes. Se la conoce sobre todo por un grupo de siete estrellas que forman el llamado Carro. Los antiguos latinos identificaron la figura con un grupo de siete bueyes; otros pueblos vieron una cacerola, una olla o un arado...

Cinco de las siete estrellas del Carro forman parte de una asociación estelar, es decir, de un grupo de estrellas realmente próximas entre sí. Normalmente ocurre lo contrario, pues las estrellas que pertenecen a una misma constelación suelen estar en realidad muy alejadas unas de otras. Se ha conseguido descubrir este hecho midiendo las distancias que nos separan de las estrellas y observando sus movimientos. Los de las cinco estrellas mencionadas eran muy parecidos, por lo que los astros debían pertenecer a un único grupo.

M101 es una bella galaxia situada cerca de la cola de la Osa Mayor: su orientación nos permite verla con todo detalle y admirar los brazos espirales que rodean el núcleo.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

La Osa Mayor sirve como punto de partida para encontrar otras constelaciones. Para localizarla basta mirar hacia el norte: el término «septentrión» deriva de la expresión latina *septem triones* (siete bueyes), que son visibles hacia el norte.

ESTRELLAS NOTABLES

La estrella más interesante de la constelación es Zeta *Ursae Majoris* (magnitud 2,5), una notable estrella múltiple llamada también Mizar. Ésta consta en realidad de dos estrellas, Mizar A, la más luminosa (magnitud 2), y Mizar B (de magnitud comprendida entre 4 y 5). Para poder distinguirlas hay que utilizar un telescopio de varias decenas de aumentos. Hoy sabemos que estas estrellas no nos parecen próximas por un efecto de perspectiva, sino que lo están realmente: la atracción gravitacional que se ejercen hace que orbiten una alrededor de la otra.

Cerca de la pareja Mizar A y Mizar B (que habitualmente se llama simplemente Mizar) se distingue a simple vista Alcor, una estrella de magnitud 4.

Podemos proseguir la exploración de esta constelación considerando Alfa o Dubhe (magnitud 1,8), así como Beta o Merak (magnitud 2,4). Aunque carecen de peculiaridades dignas de reseñar (Dubhe es una estrella doble con una compañera demasiado próxima para verla con un telescopio de aficionado), estas estrellas son muy importantes porque permiten encontrar la Estrella Polar, que forma parte de la vecina constelación de la Osa Menor. Para llegar a la Estrella Polar, basta contar en la dirección de la recta que une ambas estrellas una longitud igual a cinco veces la distancia que las separa.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

LA OSA MAYOR

Según una leyenda de las poblaciones indias norteamericanas, las estrellas del Carro representan dos osas, cuatro lobos y un perro de caza que acompañaba a los lobos en sus batidas. Los lobos y el perro se aventuraron en el cielo para cazar las dos osas que veían en la bóveda celeste. Alcor sería el perro de caza. Según otra leyenda, la Osa Mayor ocupa una posición en el cielo que representa el ciclo vital del animal: se levanta en primavera al término del letargo, realiza un giro completo por el cielo y vuelve a acostarse con los primeros fríos.

Otra estrella particularmente importante es Csi *Ursae Majoris* (magnitud 3,7), la primera estrella doble en la que se descubrió la atracción gravitatoria entre las dos componentes.

OBJETOS DE LA OSA MAYOR

La constelación de la Osa Mayor no contiene objetos especialmente llamativos. No obstante, en el catálogo de Messier se mencionan seis de ellos: las galaxias M40, M81, M82, M101, M108 y M109.

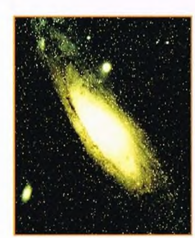
M81 es una bella galaxia espiral, mientras que M82 es una galaxia irregular, sede de intensos cataclismos que modifican periódicamente su forma.

DÓNDE BUSCARLA

LA OSA MAYOR

La constelación es circumpolar a las latitudes de España, lo que significa que nunca desaparece bajo el horizonte. En primavera, la Osa Mayor está a primera hora de la noche cerca del cenit. Seis meses después, en otoño, su posición es baja, próxima al horizonte. Su movimiento en el cielo es antihorario. Por lo tanto, la constelación es visible hacia el noroeste en verano y hacia el noreste en invierno. Se observa al comienzo de la noche, cada mes, a la misma hora (hacia las 22.30). Se puede advertir su constante y regular movimiento por el cielo, de unos 30° mensuales.





CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

La base del saber científico

Las leyes de la astrofísica y de la astroquímica, que sustentan el progreso del conocimiento humano del espacio y del Universo, se exponen en esta sección partiendo del conjunto de la información esencial y profundizando, más adelante, en detalles y aspectos menos conocidos.

¿Qué es la fuerza de la gravedad? ¿Cómo se refractan las ondas electromagnéticas? ¿Cuáles son las cuatro fuerzas? ¿Qué son las radiaciones infrarrojas y las radiaciones ultravioletas? ¿Qué es el límite de Roche? ¿Cómo se mide el tiempo y el espacio? ¿Qué leyes rigen la física nuclear?



CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LA GRAVEDAD

¿POR QUÉ CAEMOS AL SUELO?

La gravedad es una fuerza fundamental que nos sujeta firmemente al suelo y atrae los objetos hacia el suelo. Además, mantiene los cuerpos celestes, como la Luna y la Tierra, en sus respectivas órbitas.

La fuerza de la gravedad es la más débil de las fuerzas fundamentales (nuclear fuerte, nuclear débil, electromagnética y gravitacional). La gravedad es una propiedad de todos los cuerpos. Su intensidad decrece con la distancia y es proporcional a la masa: cuanto más masivo es un objeto, mayor es la fuerza con la que atrae los cuerpos próximos. La Tierra ejerce una fuerte atracción gravitacional porque está dotada de una gran masa. Atrae la manzana que cae del árbol. Pero, también la manzana atrae la Tierra hacia ella, a pesar de que la pequeña fruta tiene una masa tan insignificante que sus efectos no se dejan sentir.

PRIMERAS TEORÍAS

Los antiguos filósofos griegos, como Aristóteles (384-322 a.C.), creían que la Tierra estaba en el centro del universo y que los objetos caían hacia abajo en busca de su «lugar natural» en el centro del planeta.

Cuando los científicos comprendieron por fin que la Tierra era un planeta en órbita alrededor del Sol, fueron necesarias nuevas teorías para explicar por qué los objetos caen y los planetas recorren órbitas elípticas. En el siglo XVII, muchos estudiosos creían que un tipo de fuerza, la gravedad, era la responsable del fenómeno. Pero la naturaleza y el comportamiento de esta fuerza eran desconocidos.

LA TEORÍA DE NEWTON

El famoso científico inglés Isaac Newton (1642-1727) comprendió que todos los cuerpos que se mueven lo hacen en línea recta y a velocidad constante, a menos que estén sometidos a una fuerza. Para que un cuerpo, como por ejemplo la Luna, se mueva a lo largo de una órbita circular es preciso que una fuerza (la gravedad) lo obligue a desviarse constantemente de su trayectoria rectilínea. La gravedad lo atraerá hacia el centro de otro cuerpo, en nuestro caso, el centro de la Tierra.

De no ser por la fuerza gravitatoria de la Tierra, la Luna se perdería por el espacio. En ausencia de fuerzas, nuestro satélite debería moverse en línea recta. Pero la gravedad terrestre la atrae constantemente hacia nuestro planeta, por lo que su órbita es curvilínea. La fuerza gravitatoria ejercida por la Tierra hace que la Luna recorra una órbita casi circular, como si estuviera sujeta al centro de nuestro planeta por una cuerda que la hace girar.

Los paracaidistas que se lanzan en caída libre desde un avión experimentan una sensación de ingravidez. La gravedad los acelera hacia el suelo hasta que se abren los paracaídas.

Newton calculó la aceleración de la Luna a lo largo de su órbita y la comparó con la aceleración de un cuerpo que cae hacia la superficie de la Tierra. Basándose en que la distancia de la Tierra a la Luna es de unos 60 radios terrestres, Newton logró demostrar que la fuerza de la gravedad era inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre dos objetos. Esto significa que si la distancia entre dos cuerpos se dobla, la fuerza de la gravedad se reduce a una cuarta parte de su valor inicial.

La ley de la gravitación universal de Newton, publicada en 1687, afirma que la fuerza de atracción entre dos cuerpos cualesquiera es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al

LAS MAREAS

Marea muerta

MASA Y PESO

Hablamos a menudo de masa y peso como si fuesen lo mismo. Sin embargo, hay una notable diferencia entre ambos conceptos. La masa es la cantidad de materia que contiene un cuerpo y suele expresarse en kilogramos. La masa del Sol, por ejemplo, es 336.000 veces mayor que la de la Tierra. La masa puede calcularse por medio de balanzas de platillos, que se basan en la comparación de la masa contenida en un objeto con una masa de referencia. Dado que la masa no está influida por la gravedad, su valor es siempre el mismo independientemente de donde se encuentre el objeto: en algún lugar de la Tierra, en la Luna o en un punto cualquiera del espacio.

A la izquierda, balanza de muelles que mide el peso

El peso, en cambio, depende de la gravedad y puede determinarse por medio de una balanza de muelles, que funciona sobre la base de la atracción gravitatoria. La gravedad de la Luna es aproximadamente un sexto (cerca de un 17%) de la de la Tierra. Si nos encontráramos en la Luna, nuestra masa sería la misma, pero pesaríamos seis veces menos que en la Tierra.

Abajo, balanza de platillos que mide la masa

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

La historia de la astronáutica y la conquista del espacio

Tema intermedio entre la ciencia y la imaginación, en torno al cual giran experiencias apasionantes y a veces dramáticas. La sección describe los esfuerzos del hombre para avanzar en la exploración del espacio a medida que el progreso tecnológico le permite emprender nuevas etapas. También plantea la conveniencia de realizar nuevos viajes a la Luna, la necesidad de observar el espacio o las condiciones que debe reunir una persona para ser astronauta. Finalmente, trata de las misiones efectuadas hasta ahora, de las redes informáticas para la astronomía, de los vectores espaciales, etc.


54 LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

EL TRANSBORDADOR ESPACIAL

El transbordador espacial (Space Shuttle) estadounidense, un cruce de cohete, vehículo espacial y avión, es el aparato volador más sensacional del mundo. A diferencia de los vehículos espaciales precedentes, es reutilizable y puede enviarse al espacio muchas veces.

LOS ORÍGENES DEL TRANSBORDADOR ESPACIAL

UN VEHÍCULO ESPACIAL REUTILIZABLE

UN NUEVO PROYECTO

COMPONENTES DEL TRANSBORDADOR ESPACIAL

DA...

EL TRANSBO... ESPACIAL (SPACE SHUTTLE)

VEHÍCULO ORBITAL
Longitud: 37,2 m
Envergadura: 23,8 m
Altura: 14,1 m
Peso: 90 t
Bodega de carga: longitud: 18,3 m; anchura: 4,6 m

COHETE PROPULSOR DE COMBUSTIBLE SÓLIDO (SRB)
Longitud: 45,5 m
Diámetro: 3,7 m
Peso: 570 t (en el despegue)
Empuje: 1.500.000 kg (en el despegue)

TANQUE EXTERIOR
Longitud: 47 m
Diámetro: 8,4 m
Peso: 756 t (con plena carga)
Capacidad:
Hidrógeno líquido: 1.450.000 l
Oxígeno: 541.500 l

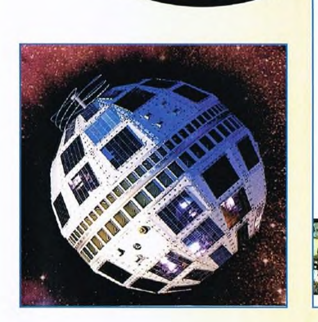


EL USO DEL ESPACIO

Los proyectos de "colonización" del espacio



¿Qué uso se propone hacer la civilización humana del espacio? Esta sección se ocupa de los satélites y sus diferentes tipos; del trabajo y de la medicina en el espacio; de la producción de energía; de las agencias, las estaciones y las bases espaciales; de la prospección de recursos, etc. Pero también de los problemas relacionados con el control del medio ambiente, del agujero de la capa de ozono, del futuro de Europa en el espacio, de los proyectos Skylab y Salyut, de la MIR, de las estaciones orbitales del nuevo milenio... incluso de la colonización de la Luna y de los viajes interestelares.




EL USO DEL ESPACIO

SUPERAR LAS BARRERAS

Se creía que la falta de peso era un obstáculo para los viajes espaciales, pero los experimentos han desmentido esta idea.

DATOS

GLOSARIO

AFELIO
Punto de la órbita de un planeta que se encuentra a la máxima distancia del Sol. En el caso de que el astro no sea el Sol, sino una estrella cualquiera, se llama "apoastro".

AGUJERO NEGRO
Estrella que, en el fin de su existencia, se colapsa por efecto de su propio peso. Debe su nombre al hecho de generar una fuerza gravitacional tan intensa que ni siquiera la luz logra escapar, por lo que la estrella parece negra.

AÑO LUZ
Unidad de longitud usada en astronomía. Corresponde a la distancia recorrida en un año por un rayo de luz, que se propaga en el vacío a la velocidad de 300.000 km/seg. Equivale a unos 10 billones de kilómetros.

ASCENSIÓN RECTA
Coordenada astronómica usada, junto con la declinación, para determinar la posición de un objeto en la esfera celeste.

ASTEROIDE
Pequeño cuerpo del sistema solar, generalmente rocoso y de forma irregular. La mayor parte de los asteroides se concentran en una franja situada entre las órbitas de los planetas Marte y Júpiter.

BIG BANG
Gigantesca explosión que se supone que dio origen el Universo. Se calcula que el Big Bang tuvo lugar hace unos 15.000 millones de años.

CENIT
Punto de la esfera celeste situado en la vertical del observador.

COMETA
Cuerpo menor del sistema solar caracterizado por un núcleo de varios kilómetros, formado por rocas y hielo, y, sobre todo, por una cabellera y una cola que se hacen más visibles a medida que el cometa se aproxima al Sol.

CONJUNCIÓN
Situación en la cual dos cuerpos celestes parecen estar muy próximos por efecto de la perspectiva. Especialmente, se habla de conjunción de los planetas respecto al Sol.

CONSTELACIÓN
Conjunto de estrellas que parecen próximas en el cielo por efecto de la perspectiva. Las constelaciones clásicas se asocian a figuras de animales, de personajes mitológicos o de objetos de uso común, y varían según los pueblos y los períodos históricos. La esfera celeste esta dividida convencionalmente en 88 constelaciones.

CUÁSAR
Acrónimo de Quasi Stellar Radio Source (radiofuente cuasiestelar). Cuerpo celeste similar a una estrella pero visible a distancias enormes, incluso de millones de años luz. Actualmente se cree que los cuásares son núcleos particularmente brillantes de galaxias lejanísimas.

CÚMULO ESTELAR
Conjunto de estrellas homogéneas por distancia y edad, que se mantiene unido por la gravedad. Los cúmulos estelares abiertos o galácticos se encuentran en el plano de nuestra Galaxia; los cúmulos estelares globulares orbitan alrededor de nuestra Galaxia como satélites.

DECLINACIÓN
Coordenada astronómica usada, junto con la ascensión recta, para determinar la posición de un objeto en la esfera celeste.

DESPLAZAMIENTO HACIA EL ROJO
Desplazamiento que, a causa del efecto Doppler, acusan las ondas luminosas emitidas por una estrella o por una galaxia que se aleja de nosotros. En los pocos casos de objetos que se aproximan, se habla de desplazamiento hacia el azul.

***DOPPLER** (Efecto)*
Variación de frecuencia que sufre una onda cuando su emisor está en movimiento respecto al observador. Tiene gran importancia en astronomía, ya que permite medir la velocidad con que una estrella o una galaxia se aproximan o se alejan de nosotros.

ECLIPSE
Ocultación transitoria, total o parcial, de un astro por interposición de otro cuerpo celeste. Especial importancia revisten los eclipses de Sol, en los cuales la Luna impide la visión del astro. Otro tipo de eclipse son los eclipses de Luna. En ellos, el satélite no se puede ver porque se encuentra en el cono de sombra que proyecta la Tierra en el espacio.

ECUADOR CELESTE
Círculo imaginario de la esfera celeste que se utiliza como punto de referencia fundamental para la medida de las coordenadas astronómicas.

EFEMÉRIDES
Relación de las coordenadas astronómicas de posición del Sol, la Luna y los planetas, y de los datos que sirven para su observación. Las efemérides astronómicas se publican cada año.

EQUINOCCIO
Cada uno de los dos instantes en que el Sol, moviéndose sobre la eclíptica, atraviesa el ecuador celeste. Los equinoccios, que señalan el inicio de la primavera y el otoño, caen respectivamente en el 21 de marzo y el 23 de septiembre (en el hemisferio Norte). Estos dos días son también los únicos del año en los cuales el día y la noche tienen la misma duración: 12 horas.

ESFERA CELESTE
Esfera imaginaria, con la Tierra en el centro, en la que están hipotéticamente situados todos los objetos celestes, independientemente de la distancia a que se encuentren.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO
Conjunto formado por las ondas electromagnéticas de todas las longitudes de onda. El espectro electromagnético comprende las ondas hertzianas, los rayos infrarrojos, la luz, los rayos ultravioletas, los rayos X y los rayos gamma.

ESTRELLA
Cuerpo celeste gaseoso dotado de luz propia. Hay cerca de cien mil millones de estrellas sólo en nuestra Galaxia.

GALAXIA
Objeto celeste compuesto por centenares de miles de millones de estrellas. El Universo está poblado por galaxias, e incluso el Sol, con el sistema solar, se encuentra en el interior de una de ellas: la Vía Láctea.



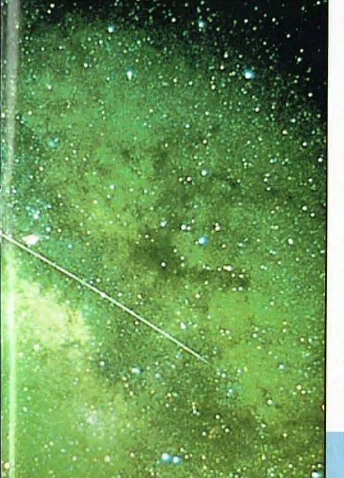
Los términos y los conceptos principales de la Astronomía: una guía práctica para la consulta de la obra

M
Sigla utilizada para individualizar los objetos contenidos en el catálogo de objetos celestes compilado por Charles Messier a finales del siglo XVIII. Contiene 110 objetos no estelares (cúmulos, nebulosas y galaxias).

MAGNITUD
Luminosidad de una estrella o de un objeto celeste. Por razones históricas, la escala decrece al crecer la luminosidad (una estrella de magnitud 3, por ejemplo, es más luminosa que otra de magnitud 5). Cuando la luminosidad de dos estrellas difiere en una magnitud, una es 2,5 veces más luminosa que la otra. Conviene distinguir la magnitud aparente, que es la luminosidad medida por un observador en la Tierra, de la magnitud absoluta, que es la luminosidad que tendría la estrella si estuviera situada a una distancia de 10 parsecs.

METEORITO
Pequeño cuerpo del sistema solar que, atraído por un planeta, cae sobre él. Puede desintegrarse completamente por efecto del rozamiento con la atmósfera o bien puede llegar hasta la superficie de dicho planeta, dando lugar a un cráter.

MOVIMIENTO PROPIO
Movimiento angular que realiza una estrella en la esfera celeste durante un año. El movimiento propio es siempre muy pequeño y se mide en segundos de arco (un segundo de arco es 1/3.600 grados).



NEBULOSA
Objeto celeste compuesto por gases enrarecidos y, ocasionalmente, por polvo interestelar.

NGC
Sigla utilizada para individualizar los objetos contenidos en el New General Catalogue de objetos celestes, compilado en el siglo pasado. Contiene cerca de 8.000 objetos no estelares.

OPOSICIÓN
Situación en la cual dos objetos celestes aparecen en posición opuesta respecto al Sol. Especialmente, se habla de oposición en el caso de planetas respecto al Sol.

ÓRBITA
Trayectoria que cualquier objeto celeste describe en el espacio a causa de su movimiento propio. El término también se aplica a la trayectoria de los satélites artificiales y de las sondas espaciales.

PARALAJE
Ángulo bajo el cual, desde la distancia a que se encuentra una estrella, se ve el semieje mayor de la órbita terrestre.

PARSEC
Unidad de distancia usada en astronomía. Un parsec equivale a 3,26 años luz.

PERIHELIO
Punto de la órbita de un planeta que se encuentra a la mínima distancia del Sol. En el caso de que el astro no sea el Sol, sino una estrella cualquiera, se llama "periastro".

PLANETA
Cuerpo celeste frío que orbita alrededor de una estrella. En el sistema solar hay nueve planetas, comprendida la Tierra.

PRECESIÓN
Movimiento muy lento realizado por el eje de rotación de la Tierra en el curso de los siglos, causado por la atracción combinada de la gravedad del Sol y de la Luna. La precesión hace describir al eje terrestre un cono en el espacio.

PÚLSAR
Acrónimo de Pulsating Radio Star (radioestrella pulsante). Es una estrella muy densa y en rápida rotación en torno al propio eje, que emite un haz de ondas electromagnéticas visible desde la Tierra sólo cuando la emisión se "dirige" hacia nuestro planeta (como si fuera el haz luminoso de un faro).

PUNTO GAMMA
Llamado también "punto de ariete" o "nodo ascendente". Es uno de los dos puntos de la esfera celeste donde se cortan el ecuador celeste y la eclíptica.

REVOLUCIÓN
Movimiento de un cuerpo que orbita alrededor de otro. Por ejemplo, se habla de revolución en el caso de un planeta que gira alrededor del Sol.

ROTACIÓN
Movimiento de un cuerpo que gira sobre sí mismo alrededor de un eje fijo.

SATÉLITE
Objeto celeste que orbita alrededor de otro cuerpo que no es una estrella. Se habla de satélite natural en el caso de la Luna y de los satélites de los diferentes planetas, y de satélite artificial en el caso de los artefactos lanzados por el hombre que giran alrededor de la Tierra.

SOLSTICIO
Cada uno de los dos instantes en que el Sol, moviéndose sobre la eclíptica, se sitúa a la máxima distancia del ecuador celeste; los dos solsticios son también los días en que el Sol, a mediodía, está a la máxima y a la mínima altura sobre el horizonte (solsticio de verano y de invierno, respectivamente). Los solsticios, que señalan el inicio del verano y del invierno (en el hemisferio Norte), caen en el 21 de junio (verano) y el 22 de diciembre (invierno).

SUPERNOVA
Estrella que, en una fase inestable de su existencia, explota de forma destructiva.

TELESCOPIO
Instrumento usado en astronomía para la observación del cielo. Dispone de una lente (telescopio refractor) o de un espejo (telescopio reflector) para recoger la luz procedente de los objetos celestes.

UNIDAD ASTRONÓMICA
Unidad de distancia usada en astronomía, sobre todo en el interior del sistema solar, definida como la distancia media entre la Tierra y el Sol. Una unidad astronómica corresponde a cerca de 149.600.000 km.

VÍA LÁCTEA
Nombre de nuestra Galaxia. La parte más brillante (el disco galáctico) aparece en el cielo nocturno como una doble franja que atraviesa el cielo.



80
fascículos de 20 págs. cada uno

5
lujosos tomos

400
temas

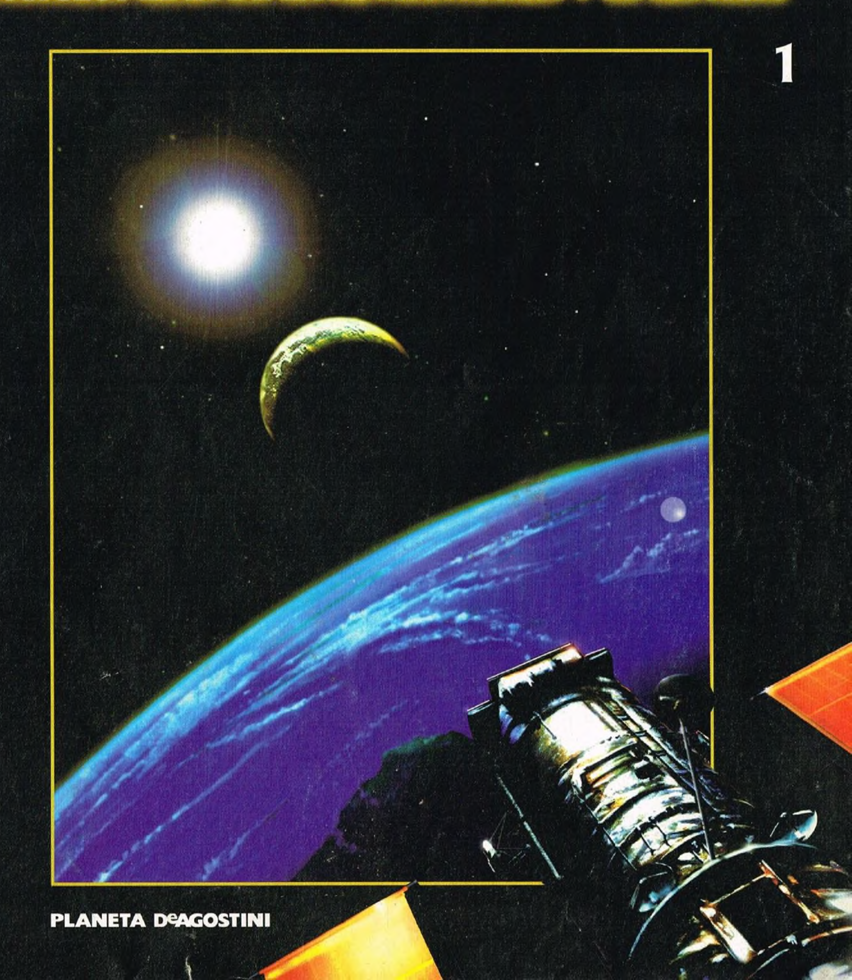
1600
páginas

3000
ilustraciones

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

1



PLANETA DeAGOSTINI

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Abril 1998

Fotografías: CERN, Ginebra: 10b; ESA/ESTEC: 14a; ESA: 15b; Encoup Enterprises/Galaxy Picture Library: 7b; Galaxy Picture Library: tercera de cubiertas; NASA: 1, 5ad, 5bd, 6, 7ac, 11, 12, 16, 17; National Optical Astronomical Observatory/Lowell Observatory: 5d; Popperfoto: 7ad; Rex Features: 20b; David Parker: 19a; Picture Library: 18; *Dibujo*: Lee Gibbons/ Wildlife Art Agency (WLAA): cubierta; Tom Connell: 18; DI.DO.t: 13; Farrows: 19; Lee Gibbons/WLAA: 2-3, 4s, 8-9; David Hardy: 10-11; Merih Kunur: 12ad; Hugh Roland: 4-5, 8, 12, 16.

PLANETA DeAGOSTINI

EL REINO DEL SOL

Nuestro planeta, la Tierra, forma parte del sistema solar junto a una estrella, el Sol, otros ocho planetas y una cantidad determinada de cuerpos más pequeños.



El sistema solar es el conjunto de planetas, asteroides y cometas que giran alrededor del Sol y se mantienen a lo largo de sus órbitas por la intensa fuerza gravitatoria que ejerce el astro, debida a su masa, muchísimo mayor que la de cualquier planeta. La Tierra es uno de estos cuerpos celestes, y el Sol, la estrella más próxima a nosotros, no es diferente de las que se ven brillar en el cielo por la noche.

Los astrónomos creen que fuera del sistema solar hay otros conjuntos de planetas que, análogamente al nuestro, giran alrededor de estrellas. Esta hipótesis recibe el apoyo de teorías científicas establecidas.

El sistema solar está constituido por la materia residual que quedó al formarse el Sol. Las estrellas proceden del colapso gravitacional de una nube de gas (es decir, de la compresión de la nube debida a su propio peso); a su alrededor, a partir de los restos de la nube, pueden condensarse unos cuerpos más pequeños, los planetas. Por esta razón, es probable que existan bastantes sistemas planetarios similares al que alberga la Tierra. De hecho, datos recientes confirman que alrededor de otras estrellas hay planetas o sistemas planetarios parecidos a nuestro sistema solar.

LAS ÓRBITAS DE LOS PLANETAS

Los cuerpos más importantes del sistema solar son los nueve planetas que giran alrededor del Sol siguiendo órbitas de forma elíptica, es decir, similares



El Sol, situado en el centro del sistema solar, es la estrella más próxima a nosotros y la que proporciona la energía necesaria para que exista vida en la Tierra. En el universo hay innumerables estrellas y probablemente muchos planetas formados a su alrededor. La foto de la derecha muestra el campo estelar en torno a la nebulosa Rosetta, en la constelación del Unicornio (Monoceros).

LOS PLANETAS DEL SISTEMA SOLAR

Los nueve planetas del sistema solar son diferentes en cuanto a dimensiones y aspecto. Sin embargo, se pueden clasificar en dos grupos: los cuatro más cercanos al Sol se conocen como planetas terrestres o telúricos, y los cuatro siguientes, como planetas gigantes. El noveno, Plutón, se escapa de esta clasificación.

Mercurio

Venus



Tierra



Marte



a circunferencias pero ligeramente más excéntricas. El Sol no está exactamente en el centro de estas órbitas, razón por la cual los planetas pueden encontrarse a veces más cerca y otras, más lejos del astro. Por ejemplo, la distancia de la Tierra al Sol varía de 147 a 152 millones de km en el curso de seis meses. Como se puede observar, la diferencia no es muy grande, lo cual significa que las órbitas de los planetas, en efecto, son casi circulares.

Sin embargo, Mercurio y, sobre todo, Plutón constituyen importantes excepciones a esta regla.

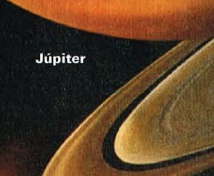
Plutón es el planeta más alejado del Sol (su distancia máxima es de 7.375 millones de km); no obstante, en determinados períodos, por ejemplo en 1979, este planeta estaba más cerca del Sol que Neptuno; en 1989, Plutón alcanzó su distancia mínima al astro, que es de 4.425 millones de km.

Siete de los nueve planetas se mueven alrededor del Sol en órbitas que se encuentran prácticamente en el mismo plano. Esto significa que se encuentran siempre dentro de una estrecha franja de constelaciones, las zodiacales, que son fácilmente identificables en el cielo. Una vez más, las excepciones son Mercurio y Plutón; la órbita del primero está inclinada 7º respecto a la de la Tierra y la del segundo, 17º.

Cuanto mayor es la distancia de un planeta al Sol, mayor es el tiempo que tarda en recorrer una órbita completa; mientras que Mercurio tarda 88 días en recorrer una órbita completa, Plutón lo hace en 248 años.

DOS FAMILIAS DE PLANETAS

Aunque cada uno de ellos presenta características que le son propias, los planetas del sistema solar se dividen en dos



Júpiter

DATOS	DIST. MÍN. Y MÁX. DEL SOL (MILLONES DE KM)	DIÁMETRO (KM)	VELOCIDAD ORBITAL MEDIA (KM/S)	PERÍODO DE ROTACIÓN EN TORNO A SU PROPIO EJE	PERÍODO DE REVOLUCIÓN EN TORNO AL SOL	MASA (TIERRA=1)	SATÉLITES OBSERVADOS
MERCURIO	46-69,8	4.878	47,87	58,65 días	87,97 días	0,055	0
VENUS	107,4-109	12.103	35,03	243,01 días	224,70 días	0,82	0
TIERRA	147-152	12.756	29,79	23 h 56 min	365,26 días	1	1
MARTE	206,7-249,1	6.794	24,13	24 h 37 min	686,98 días	0,11	2
JÚPITER	740,9-815,7	142.984	13,06	9 h 55 min	11,86 años	317,90	16
SATURNO	1.347-1.507	120.536	9,64	10 h 40 min	29,42 años	95,19	18
URANO	2.735-3.004	51.118	6,81	17 h 18 min	83,75 años	14,54	15
NEPTUNO	4.456-4.537	49.528	5,43	16 h 17 min	163,72 años	17,15	8
PLUTÓN	4.425-7.375	2.320	4,74	6 días 9 h	248 años	0,0025	1

Todos los planetas del sistema solar recorren órbitas elípticas, razón por la cual varía su distancia en relación al Sol. En el esquema se indica la distancia media en kilómetros de cada uno de ellos al Sol.

Plutón
5.916.000.000

Neptuno
4.504.000.000

En el dibujo aparecen el Sol (cuyo perfil es parcialmente visible sobre el fondo de la doble página) y los nueve planetas del sistema solar, que se presentan reagrupados para una más fácil identificación y para permitir la comparación directa entre sus diversas dimensiones.

grandes familias: los planetas terrestres o telúricos y los planetas gigantes. A la primera pertenecen, además de la Tierra, Mercurio, Venus y Marte; la segunda comprende Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Una vez más, Plutón no encaja en esta clasificación.

Los planetas terrestres, los más próximos al Sol, son pequeños y rocosos. Deben su nombre a que, en muchos aspectos, son parecidos a la Tierra. Además, poseen atmósfera, con la excepción de Mercurio, que carece casi totalmente de ella porque su gravedad es demasiado pequeña para retener los gases.

Los planetas gigantes, en cambio, están compuestos básicamente de gases, en especial Júpiter. Por eso se les llama también planetas jovianos.

Plutón, situado en los confines del sistema solar, es distinto de todos los demás. Se trata del planeta más pequeño (su diámetro, de 2.320 km, equivale a menos de la mitad del de Mercurio y menos de la quinta parte del de la Tierra) y su masa es igual a la quinta parte de la lunar. En lo referente a su composición, está formado por un 67% de rocas y un 33% de hielo. Su origen podría ser distinto del de los demás planetas.

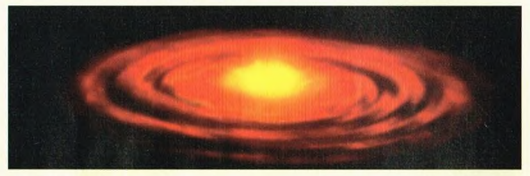
LA VISIBILIDAD DE LOS PLANETAS

A diferencia del Sol, ningún planeta emite luz propia. Los planetas brillan en el cielo como puntitos parecidos a las estrellas porque reflejan la luz solar. El planeta de aspecto más luminoso es Venus, porque es el más próximo a nosotros y porque su densa atmósfera refleja la luz del Sol. Pero Mercurio, Marte, Júpiter y Saturno también son perceptibles a simple vista y, de hecho, se conocen desde la Antigüedad. Mercurio es el más difícil de observar porque su posición en el cielo es siempre muy cercana a la del Sol; sólo es visible un poco antes del alba e inmediatamente después de la puesta del Sol. Urano, situado teóricamente en el límite de la visibilidad directa, escapó a la observación de los antiguos y no fue descubierto hasta 1781. Neptuno y Plutón, demasiado tenues para ser observados sin la ayuda de un telescopio, fueron descubiertos en 1846 y 1930, respectivamente.

FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR



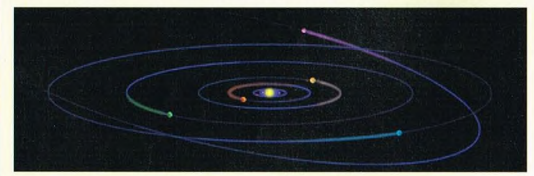
UNA ESFERA DE GAS Y POLVO
Hace 4.500 millones de años, empezó a formarse el sistema solar a partir de una nube de gas y polvo, que se colapsó sobre sí misma a causa de su propio peso y que, debido a su rotación, formó un disco alrededor del Sol naciente.



UN DISCO EN ROTACIÓN
El sistema solar primitivo prosiguió su rotación, y la materia sólida presente en el disco empezó a aglomerarse. Algunos cúmulos de materia medían varios kilómetros. En el centro, el Sol liberó una cantidad enorme de calor que provocó la aglomeración de la materia.



LA FORMACIÓN DE LOS PLANETAS
En el sistema solar exterior se formaron cuatro grandes masas, que dieron origen a los planetas gigantes gaseosos. Su intensa gravedad favoreció la constitución de densas atmósferas. Más cerca del Sol se formaron los planetas terrestres.



EL SISTEMA SOLAR, HOY
Los nueve planetas mayores viajan alrededor del Sol siguiendo órbitas estables. La mayoría de ellos tiene satélites naturales o lunas. Los asteroides y los cometas son residuos del sistema solar primitivo.

LAS ÓRBITAS PLANETARIAS

Los planetas se mueven alrededor del Sol a lo largo de órbitas elípticas casi circulares, la mayoría de las cuales se encuentran en el mismo plano. Mercurio y Plutón constituyen excepciones a esta regla, pues sus órbitas elípticas son más excéntricas.



FAMILIAS DE SATÉLITES Y DE ANILLOS

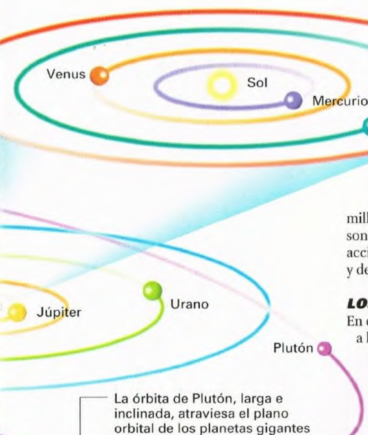
La mayor parte de los planetas, como la Tierra, tiene uno o más satélites naturales (o lunas); Mercurio y Venus son los únicos que carecen de ellos.

Los cuatro planetas gigantes tienen familias numerosas de satélites que orbitan alrededor del planeta como si fueran sistemas solares en miniatura. Saturno es el que mayor número tiene: se sabe con certeza que existen 18, pero podría ser que hubiera más. Júpiter es el planeta que tiene el satélite de mayor tamaño: Ganímedes, cuyo diámetro principal es mayor que el de Mercurio. Resulta interesante el caso de Plutón, cuyo único satélite conocido, Caronte, tiene un diámetro aproximadamente igual a la mitad del de Plutón; por esta razón, se dice a veces que constituyen un planeta doble.

Los cuatro planetas gigantes están rodeados de anillos. Los más conocidos y espectaculares son los de Saturno, fácilmente visibles con un pequeño telescopio. En cambio, para descubrir los tenues anillos de Júpiter, Urano y Neptuno fueron necesarias sofisticadas observaciones desde la Tierra y fue preciso el envío de las sondas Voyager. Los anillos están formados por partículas de polvo y hielo de pequeñas dimensiones, y fragmentos rocosos.

EL ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR

El Sol y el sistema solar se formaron hace unos 4.500 millones de años a partir de una nube de gas y polvo que giraba sobre sí misma. Bajo la acción de su propio peso, esta nube se aplanó y se convirtió en un disco, en cuyo centro se formó el Sol.



Esquema de los planetas terrestres y sus órbitas

La órbita de Plutón, larga e inclinada, atraviesa el plano orbital de los planetas gigantes

Dentro de este disco, empezaron a aglomerarse materiales sólidos, que, al colisionar entre sí, dieron lugar a cuerpos cada vez mayores. La composición de estas aglomeraciones dependía de su distancia al calor solar. Lejos del Sol, donde la temperatura era muy baja, los cuerpos se helaron. Cerca del astro, en cambio, el hielo se evaporó y sólo quedaron rocas y metales.

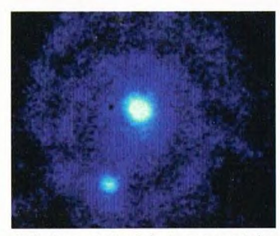
LOS PLANETAS TERRESTRES

En el sistema solar interior, más caliente, los planetas se formaron a partir de restos rocosos de la nebulosa solar. Estos agregados rocosos, muy numerosos, chocaron entre sí y formaron unos cuerpos, de dimensiones cada vez mayores, llamados planetésimos. Éstos, al atraerse unos a otros por la fuerza de la gravedad, dieron origen a los cuatro planetas terrestres. La superficie de dichos planetas se calentó debido al bombardeo de las rocas en órbita alrededor del disco central del joven sistema solar. A este aumento de temperatura contribuyó también la radiactividad propia del interior de los planetas. Como consecuencia del aumento de temperatura, se fundieron los metales de los que estaban parcialmente compuestos y penetraron en las áreas centrales, dando origen a la formación de venas y depósitos. Todavía son perceptibles los cráteres producidos por el impacto de rocas en la superficie lunar, así como en la de los demás planetas y sus lunas, ninguna de las cuales ha cambiado a lo largo de miles de millones de años. En la Tierra, los cráteres son mucho menos visibles debido a la acción de los agentes atmosféricos y de la vegetación.

LOS GIGANTES GASEOSOS

En el sistema solar exterior, gracias tal vez a la presencia de un mayor número de planetésimos o a la abundancia de agua a una notable distancia del Sol, se formaron cuerpos mucho más compactos, rodeados de familias enteras de satélites. Las masas de estos cuerpos eran unas diez veces mayores que la de la Tierra, y su gravedad lo bastante alta para retener densas atmósferas, que se habían formado atrayendo parte de la nube de gas que todavía rodeaba el sistema solar primitivo. Así se formaron en tales regiones los planetas gigantes gaseosos.

Tanto Júpiter como el Sol tienen una composición similar a la de la nebulosa solar originaria: un 74% de hidrógeno, un 24% de helio y un 2% de otros elementos. Saturno tiene una composición parecida, aunque con unos porcentajes inferiores de hidrógeno y helio, mientras que Urano y Neptuno parecen tener un núcleo de mayor tamaño y unos porcentajes de hidrógeno y helio inferiores a los de Júpiter y Saturno.



Arriba, imagen de Plutón (en la parte superior) y de su satélite, Caronte, tomada por el telescopio espacial Hubble. Plutón podría ser el mayor de una serie de miniplanetas helados situados en los confines del sistema solar.

LOS ASTEROIDES

Parte de los residuos rocosos más pequeños formados en el sistema solar primitivo dieron origen a un cinturón (el cinturón de asteroides) situado entre las órbitas de Marte y Júpiter. Los asteroides mayores pueden considerarse como pequeños planetas, mientras que los restantes son grandes pedruscos de forma irregular. Se calcula que la masa total de los asteroides de este cinturón es aproximadamente la milésima parte de la masa de la Tierra.

En 1801, el astrónomo italiano Piazzi descubrió el primer asteroide, Ceres, que



El cometa Halley es el más famoso de los cometas que reaparecen periódicamente. Los cometas son esferas de hielo, rocas y polvo que constituyen residuos del sistema solar primitivo. La mayoría proceden de regiones situadas más allá de la órbita de Plutón.

A la derecha, fotografía de alta resolución del asteroide Gaspra, tomada por la sonda espacial Galileo. Gaspra tiene una forma irregular y está surcado por más de 600 cráteres. La mayoría de los asteroides se encuentran en el cinturón de asteroides, entre las órbitas de Marte y Júpiter.

con su diámetro de unos 1.000 km es el de mayor tamaño.

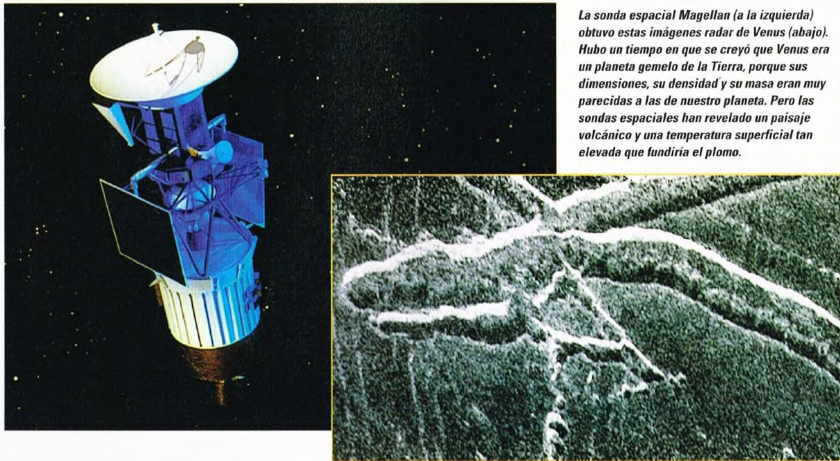
En 1993, durante su misión a través del sistema solar, la nave espacial Galileo transmitió a la Tierra imágenes próximas de los asteroides Gaspra e Ida, que tienen una forma irregular y están sembrados de cráteres. Pese a su longitud, de sólo 55 km, Ida posee un pequeño satélite, Dátil, de aproximadamente 1,5 km de diámetro.

No todos los asteroides tienen la misma composición, como se desprende del distinto modo de reflejar la luz solar. El 75% son de un color muy oscuro y poco reflectante, pero algunos están formados por rocas grisáceas y otros presentan un brillo metálico. Esta diferente composición se da también en los distintos tipos de meteoritos que periódicamente caen a la superficie terrestre y que, probablemente, proceden en su mayoría del cinturón de asteroides.

Además de los asteroides entre Marte y Júpiter, en otras regiones del sistema solar otros recorren diversas órbitas. Algunos se acercan a la órbita de la Tierra o la atraviesan; dos grupos, llamados troyanos, siguen la órbita de Júpiter.

LOS MISTERIOSOS COMETAS

Los cometas son unos componentes «misteriosos» del sistema solar. Algunos, como el famoso cometa Halley, han sido capturados por la gravedad del Sol, recorren órbitas elípticas muy alargadas y reaparecen periódicamente. El cometa Halley se mueve entre el sistema solar interior y un punto situado más allá de



La sonda espacial Magellan (a la izquierda) obtuvo estas imágenes radar de Venus (abajo). Hubo un tiempo en que se creyó que Venus era un planeta gemelo de la Tierra, porque sus dimensiones, su densidad y su masa eran muy parecidas a las de nuestro planeta. Pero las sondas espaciales han revelado un paisaje volcánico y una temperatura superficial tan elevada que fundiría el plomo.



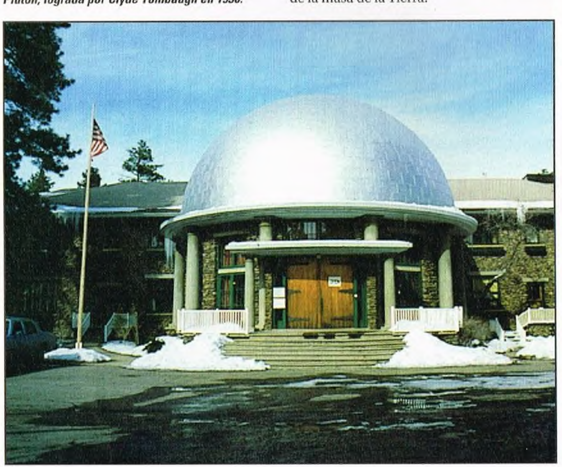
la órbita de Neptuno, empleando cerca de 76 años en completar su trayecto. Se cree, no obstante, que la zona de procedencia de la mayor parte de los cometas está más allá de la órbita de Plutón, en una región del espacio donde quedaron depositados muchos de los fragmentos de hielo, producto de la formación del sistema solar. En dicha región, llamada Nube de Oort, en honor del astrónomo que conjeturó su existencia, se supone que hay más de 100.000 millones de núcleos de cometas. Desde la Tierra, los cometas sólo son visibles cuando son atraídos hacia el interior del sistema solar.

UNA «BOLA DE NIEVE SUCIA»

El núcleo de un cometa ha sido descrito por el astrónomo Fred Whipple como una «bola de nieve sucia», porque está formado por una mezcla de hielo, rocas y polvo. Cuando un cometa se acerca al Sol, el calor creciente comienza a evaporar el hielo. El núcleo, de varios kilómetros de diámetro, queda rodeado, entonces, por una gran envoltura gaseosa, la cabellera, que se extiende a lo largo de miles de kilómetros. El cometa se hace visible a causa de la reflexión de la luz solar en la cabellera. A medida que el calor del Sol se va haciendo más intenso, los chorros de polvo y gas procedentes de la superficie del núcleo se van orientando en dirección contraria al Sol, creando largas colas. Pese a su gran espectacularidad, los cometas contienen poquísima materia: del orden de la milmillonésima parte de la masa de la Tierra.

A la izquierda, la sonda Voyager 1. Las Voyager, proyectadas para explorar el sistema solar y lanzadas en 1977, han sido dos de las sondas más fructíferas. Las imágenes enviadas han revolucionado nuestro conocimiento de los planetas gigantes. La foto (arriba) muestra una explosión volcánica en Ío, uno de los satélites de Júpiter.

Abajo, el observatorio Lowell, situado en Flagstaff (Arizona), es uno de los más famosos del mundo. Entre los descubrimientos allí realizados figura la primera observación de Plutón, lograda por Clyde Tombaugh en 1930.



Por término medio, los astrónomos observan cada año más de veinte cometas, algunos de los cuales son nuevos (es decir, nunca han sido observados con anterioridad) y otros periódicos. Sin embargo, es difícil que un cometa sea lo bastante brillante para que se pueda observar a simple vista.

En 1986, los astrónomos consiguieron ver por primera vez un cometa a poca distancia, cuando la sonda espacial europea Giotto se apostó a sólo 600 km del núcleo del cometa Halley.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

OBSERVACIÓN DE JÚPITER

Júpiter es uno de los planetas más fáciles de observar. Su localización es fácil por el hecho de poseer una luz estable y perceptible que lo distingue de las estrellas e incluso de la mayoría de los demás planetas.

A SIMPLE VISTA

Júpiter, el segundo planeta más brillante del cielo después de Venus, puede observarse a simple vista durante varios meses al año.

CON UNOS PRISMÁTICOS

Unos prismáticos, aunque no sean demasiado potentes, bastan para distinguir claramente Júpiter e identificarlo inmediatamente como planeta. A diferencia de las estrellas, que incluso con los más potentes telescopios aparecen como puntitos luminosos titilantes, Júpiter presenta una forma discoidal. También se pueden distinguir fácilmente sus cuatro satélites principales (Ío, Europa, Ganímedes y Calisto), que aparecen como puntitos alineados casi a la altura del ecuador del planeta.

CON UN TELESCOPIO

Con un pequeño telescopio de aficionado o unos prismáticos potentes se pueden observar las bandas claras y oscuras de los estratos más externos de la atmósfera de Júpiter. El planeta completa una rotación sobre sí mismo en menos de diez horas, por lo que es posible, durante un prolongado período de observación, estudiar las características de sus distintas zonas. La más notable es la llamada Gran Mancha Roja, de forma ovalada, tan ancha como la Tierra y dos veces más larga. Con un telescopio pequeño, esta mancha parece más grisácea que roja.

EL BIG BANG

El Big Bang es la explosión que dio origen a nuestro universo. No sabemos todavía qué había antes ni por qué ocurrió, pero sí estamos en condiciones de reconstruir lo que sucedió a partir de aquel momento.



Todo lo que podemos ver y medir procede de un suceso explosivo ocurrido hace unos 15.000 millones de años. En un instante brevísimo, nuestro universo y, con él, el espacio y el tiempo surgieron de un minúsculo embrión cósmico increíblemente denso y caliente.

Actualmente, miles de millones de años después, el universo se expande en todas direcciones. Las galaxias del universo se alejan unas de otras, y lo hacen más rápido cuanto mayor es la distancia que las separa. Este importante descubrimiento, el de la expansión del universo, lo realizó en 1929 el astrónomo norteamericano Edwin Hubble (1889-1953).

VIAJE HACIA LOS ORÍGENES

Si pudiéramos retroceder en el tiempo e invertir la expansión, veríamos cómo se reagrupan las galaxias en un espacio muy reducido; descubriríamos que el universo, mucho antes de que las galaxias se formasen, era más pequeño que un núcleo atómico y tenía una temperatura altísima.

El hecho de que las galaxias se estén alejando de nosotros podría inducirnos a pensar que estamos en un lugar privilegiado (el centro del universo), pero no es así. La distancia entre nosotros y las demás galaxias sigue aumentando, del mismo modo que el universo se expande en todas direcciones.

EL ALEJAMIENTO DE LAS GALAXIAS

Las galaxias presentes en el universo se están alejando unas de otras porque el espacio se expande en todas direcciones. La velocidad de alejamiento aumenta cuanto mayor es la distancia entre ellas.



EL NACIMIENTO DEL UNIVERSO

El Big Bang no fue una explosión como las demás, porque todavía no había espacio donde explotar. En un solo instante, el universo y, con él, el espacio y el tiempo, se formaron a partir de un embrión extremadamente energético que se expandió en todas direcciones a una velocidad increíble. Todavía hoy, el universo se está expandiendo en todas direcciones.

ANTES DEL BIG BANG

Nadie sabe con seguridad cómo se produjo el Big Bang ni qué hubo antes; se trata de una pregunta a la que la ciencia no puede responder todavía. El problema del origen implica difíciles consideraciones de física cuántica, pues en aquellas épocas primitivas todo lo existente cabía en dimensiones del orden del átomo. Una de las conjeturas en estudio supone que el embrión cósmico del que surgió el universo fue una fluctuación de un «vacío cuántico» primordial. En cualquier caso, a partir de entonces el universo empezó a expandirse, arrastrando consigo el espacio y el tiempo.

Nadie sabe con exactitud la edad del universo, pero, como demostró Hubble, este dato está ligado a su tamaño y a la velocidad con que se está expandiendo. De todas formas, es posible evaluar el tamaño del universo midiendo la distancia a que se encuentran las galaxias más lejanas; no obstante, medidas como éstas requieren el uso de los más potentes telescopios y adolecen, en cualquier caso, de un considerable margen de error. Las estimaciones de los astrónomos, de todos modos, indican una edad de unos 15.000 millones de años.

LAS GALAXIAS, HOY

El universo actual está formado por innumerables galaxias agrupadas en enormes familias, llamadas cúmulos, separadas por inmensos espacios vacíos y oscuros. Pero las galaxias y las estrellas no empezaron a formarse hasta unos 2.000 millones de años después del Big Bang. Con anterioridad, el universo contenía sólo partículas materiales y energía en forma de radiaciones electromagnéticas (como rayos X, luz y ondas de radio). Para reconstruir la historia del universo, los astrónomos han tenido que pedir la colaboración de los físicos. Sólo la física, que estudia las partículas elementales, puede tratar de explicar qué sucedió en la primera etapa de la vida del universo. La física de las partículas estudia los constituyentes fundamentales de la materia, no sólo protones, neutrones y electrones, sino también otras partículas de nombres menos conocidos, como mesones, bosones, neutrinos y otros, algunas de las cuales subsisten durante breves instantes en unas condiciones muy especiales creadas en el interior de enormes aparatos conocidos como aceleradores de

LA LEY DE HUBBLE

Edwin Hubble, que descubrió la expansión del universo, advirtió también que la luminosidad de las galaxias era menor cuanto más rápidamente se alejaban de nosotros. Hubble pensó, que las galaxias menos luminosas tenían que ser también las más lejanas. Debía haber, pues, una relación entre la distancia y la velocidad de alejamiento. Esta relación se expresa en lenguaje matemático diciendo que hay proporcionalidad directa entre la distancia y la velocidad, es decir, que cuando aumenta la una, aumenta la otra. Es la llamada ley de Hubble, cuya fórmula es: $v = H_0 \times d$, donde «v» es la velocidad de alejamiento de una cierta galaxia, «d» su distancia y «H_0» la constante de Hubble. Conociendo H_0 se pueden calcular las distancias galácticas e incluso la edad del universo.

Big Bang

10^{-43} *segundos
El universo es pequeño, caliente y denso

10^{-35} segundos
Comienzan a crearse partículas, como quarks y antiquarks

10^{-4} segundos
Los quarks forman protones y neutrones. Los antiquarks forman antiprotones y antineutrones

1 segundo
Aparecen los primeros electrones y positrones

partículas. Estos aceleradores simulan en cierto modo las condiciones existentes en el universo primitivo.

DE LO INFINITAMENTE PEQUEÑO A LO INFINITAMENTE GRANDE

En el curso de una pequeña fracción de segundo después del Big Bang se produjeron cambios extraordinarios. El universo se expandió rápidamente desde unas dimensiones infinitesimales hasta el tamaño aproximado de un pomelo. De esta expansión veloz, conocida como inflación (del inglés *inflation* = inflamiento), emergió un universo formado por energía radiante y partículas elementales, como quarks y antiquarks. Incluso después de esta súbita inflación cósmica, el universo era todavía miles de millones de veces más caliente que el núcleo actual del Sol; sólo después, a medida que proseguía la expansión, se fue enfriando. Dicho enfriamiento fue una condición necesaria para que se iniciaran los procesos en los que intervinieron las partículas y la radiación. Antes de que el universo alcanzara la edad de una diezmilésima de segundo (0,0001 s), los quarks empezaron a formar protones y neutrones, que son las partículas que constituyen el núcleo de los átomos.

MATERIA Y ANTIMATERIA

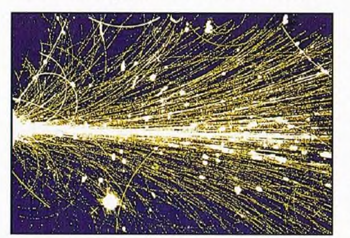
Al término del primer segundo después del Big Bang, la temperatura se había reducido a 10.000 millones de grados centígrados y el universo estaba dominado por radiaciones y partículas ligeras, como el electrón y su antipartícula, el positrón. Actualmente sabemos que al encontrarse las partículas de materia y antimateria se destruyen mutuamente (fenómeno llamado aniquilación), liberando una cierta cantidad de energía. Lo mismo ocurrió, al comienzo de la historia del universo, con los pares electrón-positrón, que se aniquilaron dando lugar a energía y a otras partículas elementales: los neutrinos. Sin embargo, de aquella fase tuvo que quedar un exceso de materia respecto a la antimateria, porque todo lo que se observa actualmente en el universo está formado por materia, mientras que la antimateria está prácticamente ausente.

Dos minutos después del Big Bang, los protones y los neutrones empezaron a combinarse entre sí dando vida al núcleo del helio. En los siguientes 300.000 años el universo no experimentó cambios significativos.

La transformación más importante se produjo cuando el universo, al expandirse, se enfrió hasta una temperatura de 3.300 ºC (la temperatura de la superficie del Sol es de 5.500 ºC); en este punto, los electrones se unieron a los núcleos de hidrógeno y helio, produciendo los primeros átomos. Se disipó entonces la niebla cósmica y el universo se volvió por primera vez transparente a la luz. En los siguientes millones de años, la materia empezó a condensarse bajo la acción de la gravedad; unos 1.000 millones de años después del Big Bang se formaron las primeras estrellas y galaxias.

UNA PRUEBA RECIENTE

La radiación emitida por el universo primitivo, descubierta en 1964 en Estados Unidos por Arno Penzias y Robert Wilson, y llamada radiación cósmica de fondo, constituye tal vez el principal argumento en favor de la teoría del Big Bang. Ahora que la temperatura del universo ha bajado a -270 ºC, la radiación, que al principio poseía una enorme cantidad de energía, se ha vuelto mucho más débil.



Para estudiar la materia y la antimateria se utiliza el acelerador de partículas (en la fotografía se pueden observar los trazos característicos). Cuando las partículas atómicas se abalanzan con gran energía contra un blanco, se desintegran en partículas más pequeñas, como los quarks, en una especie de micro Big Bang.

El dibujo muestra algunas fases de la creación del universo. Durante una pequeña fracción de segundo después del Big Bang el universo primitivo sufrió increíbles transformaciones. La materia y la antimateria empezaron a formarse y a destruirse mutuamente, dejando tras de sí una pequeña cantidad de materia y mucha energía. Al irse expandiendo y enfriando el universo, las partículas de materia que quedaban empezaron a formar átomos, los cuales constituyeron los elementos básicos para la formación de las galaxias que observamos hoy.

* El Big Bang sucedió tan rápidamente que debemos subdividir los sucesos acaecidos durante el primer segundo en unidades de tiempo más pequeñas. Los números, pequeñísimos, pueden comprenderse más fácilmente por medio de la notación científica, que recurre a potencias de 10. Así, por ejemplo, una millonésima (0,000001) de segundo puede escribirse como 10^{-6}.

LOS RESTOS DEL BIG BANG

El eco del Big Bang fue estudiado por el Cosmic Background Explorer (COBE) de la NASA, que en noviembre de 1989 midió a bajísima temperatura la radiación cósmica de fondo que impregna el universo. El mapa muestra las variaciones de temperatura de dicha radiación. Las manchas rojas indican áreas más calientes respecto a la temperatura media, y las azules, áreas más frías.

3 minutos
Los protones y los neutrones se combinan para formar núcleos de helio

300.000 años
Los electrones se unen a los protones y a los núcleos de helio, y forman los átomos

15.000 millones de años
Las estrellas y los planetas del universo actualmente visibles

ANDRÓMEDA

La constelación de Andrómeda contiene el objeto más distante de la Tierra que puede distinguirse a simple vista.

Las estrellas de la constelación de Andrómeda representan a la heroína griega encadenada a una roca. La figura aparece en el cielo cabeza abajo, debido a su posición en la esfera celeste.



La constelación de Andrómeda, como la mayoría de las constelaciones del hemisferio boreal, ya había sido observada en la Antigüedad, pues Tolomeo (siglo II a.C.) la menciona en su obra. Aunque no figura entre las constelaciones más brillantes de la bóveda celeste, contiene el objeto más alejado observable a simple vista: la galaxia de Andrómeda, situada a una distancia de más de dos millones de años luz.

LOCALIZACIÓN

Andrómeda se encuentra junto a la constelación de Casiopea, con su característica forma de M o W, que constituye una valiosa referencia para encontrar las estrellas más luminosas de Andrómeda. La alineación de las estrellas Alfa y Beta de Casiopea sirve para encontrar la Gamma de Andrómeda, una estrella de magnitud 2 llamada también Almach. Beta y Gamma de Casiopea, en cambio, ayudan al observador a localizar Alfa de Andrómeda (magnitud 2,1). La estrella tiene otros dos nombres, Sirrah y Alpheratz, el segundo de los cuales significa en árabe «cabeza de mujer encadenada». El astro constituye uno de los vértices de un gran cuadrado de estrellas, el Cuadrado de Pegaso. Hasta 1930 era considerada como parte de la constelación de Pegaso; tras la revisión de los límites de las constelaciones realizada ese año por la Unión Astronómica Internacional, Alpheratz fue atribuida a Andrómeda. Éste es el motivo por el cual en algunos atlas aparece todavía como Delta de Pegaso.



La galaxia de Andrómeda es el objeto más distante de la Tierra que puede observarse a simple vista.

ESTRELLAS NOTABLES

La estrella más interesante de la constelación es Gamma (o Almach), formada en realidad por un grupo de tres estrellas tan próximas que a simple vista parecen una sola. Observada con prismáticos, revela una estrella amarilla de magnitud 2,2 acompañada por otra azul de magnitud 4,8. Telescopios más potentes, de más de 20 cm de apertura, muestran que tiene una vecina, también azul, de magnitud 6.

A mitad de camino entre Alpheratz y Almach se encuentra Mirach, o Beta de Andrómeda, una estrella gigante roja. Es de magnitud 2,1, como Alpheratz, pero su color rojizo indica que es más fría que ésta.

LA GALAXIA DE ANDRÓMEDA

¿Cómo encontrar la galaxia de Andrómeda? Desde Mirach, en un plano perpendicular a la dirección de Alpheratz-Mirach-Almach, se encuentra Mu, una estrella blanca de magnitud 3,9. En la misma dirección, a una distancia doble desde Mirach, se ve una mancha difusa de luz: es la galaxia.

La galaxia de Andrómeda, o M31, tiene forma de espiral, como nuestra Vía Láctea, pero de mayor tamaño. Contiene unos 300.000 millones de estrellas frente a los 200.000 millones de la Galaxia, y su diámetro es de 180.000 años luz , frente a los 100.000 de la nuestra.

OTROS OBJETOS DE ANDRÓMEDA

Si observamos M31 con un telescopio pequeño, se pueden distinguir dos galaxias satélites, M32 y NGC 205. Más allá de la galaxia y de sus satélites, se observa, antes de llegar a los límites de la constelación, el cúmulo abierto NGC 752, que contiene un centenar de estrellas, y la nebulosa planetaria NGC 7662, una de las más brillantes de todo el cielo. La observación de estos dos objetos requiere el uso de un telescopio.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

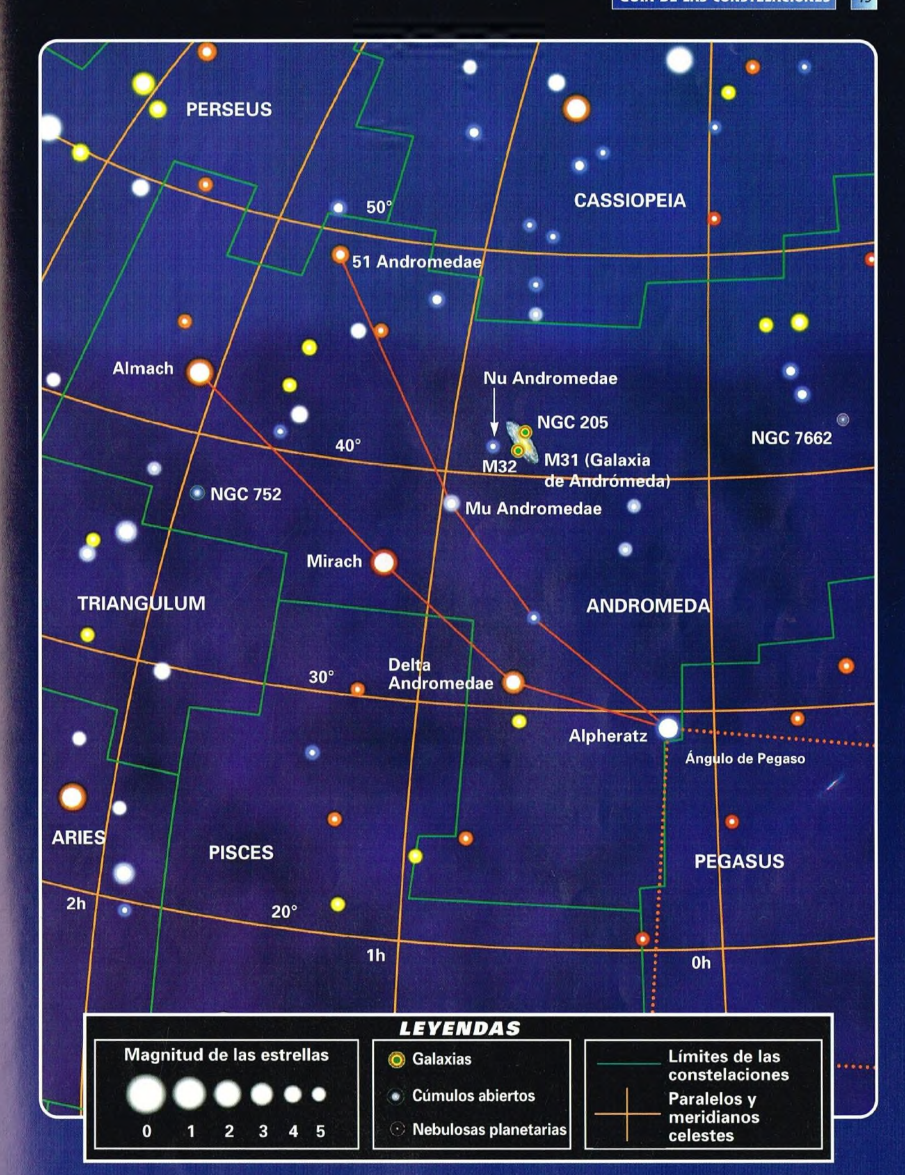
ANDRÓMEDA

En la mitología griega, Andrómeda era la hija del rey Cefeo y de la reina Casiopea. Ésta ofendió a Poseidón, el rey del mar, cuando afirmó que era la más bella de todas las Nereidas. Poseidón se enfureció y Cefeo, para aplacar su ira, encadenó a Andrómeda a una roca y la dejó como pasto para un monstruo que asolaba la región. Cuando el monstruo estaba a punto de devorarla, acudió Perseo, quien la salvó a cambio de que Cefeo le permitiera casarse con ella.

DÓNDE BUSCARLA

ANDRÓMEDA

Andrómeda abarca una región del cielo comprendida entre 53° N y 21° N de declinación, y entre 22 horas 55 minutos y 2 horas 35 minutos de ascensión recta. Es íntegramente visible todo el año desde latitudes superiores a 69° N y parte del año desde la zona situada entre 69° N y 37° S. Por debajo de esta última latitud, nunca es visible en su totalidad. En latitudes como la de España se observa desde agosto hasta comienzos de marzo; el período de mejor visibilidad corresponde a principios de invierno.



PERSEUS
CASSIOPEIA
50°
51 Andromedae
Almach
Nu Andromedae
NGC 205
NGC 7662
40°
M32
M31 (Galaxia de Andrómeda)
NGC 752
Mu Andromedae
Mirach
TRIANGULUM
ANDROMEDA
Delta Andromedae
30°
Alpheratz
Ángulo de Pegaso
ARIES
PISCES
PEGASUS
2h
20°
1h
0h
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Cúmulos abiertos
Nebulosas planetarias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

UN OJO EN EL ESPACIO

El telescopio espacial Hubble constituye el mayor avance en la exploración del espacio desde el desembarco del primer astronauta en la Luna. Es un instrumento que promete revolucionar nuestro conocimiento del universo.



Desde que fue lanzado en abril de 1990, el telescopio espacial Hubble (HST) ha realizado excitantes descubrimientos, como el hallazgo de sistemas planetarios en formación y de agujeros negros en el centro de algunas galaxias. El gran telescopio consiguió también observar, en julio de 1994, la dramática colisión cósmica entre un cometa y el planeta Júpiter.

El proyecto HST, sin embargo, no siempre ha estado coronado por el éxito. El telescopio, cuya construcción tuvo un coste aproximado de 1.500 millones de dólares, sufrió un problema óptico poco después de su lanzamiento. Las imágenes que transmitía a la Tierra no siempre eran tan nítidas como debían. Una audaz misión de reparación, que costó a la NASA un total de 250 millones de dólares, corrigió el defecto óptico en diciembre de 1993. Sólo a partir de entonces el mayor telescopio espacial del mundo empezó a trabajar a pleno rendimiento.

LA HISTORIA DEL HUBBLE

La idea de crear un telescopio espacial se remonta al ingeniero de misiles alemán Herman Oberth. Éste puso de relieve las ventajas que tendría un telescopio situado en el espacio, fuera de la atmósfera terrestre, que está llena de polvo, vapor de agua y corrientes de aire. Estos elementos perturbadores distorsionan los débiles rayos luminosos procedentes de las estrellas e impiden observar con claridad el universo.

En los años veinte y treinta, el astrónomo norteamericano Edwin Hubble estudiaba las estrellas desde el observatorio de Monte Wilson, en California, por medio del telescopio Hooker de 100 pulgadas (2,54 m), que entonces era el mayor telescopio del mundo. Hubble observó que en el universo había por doquier galaxias exteriores a la Vía Láctea.

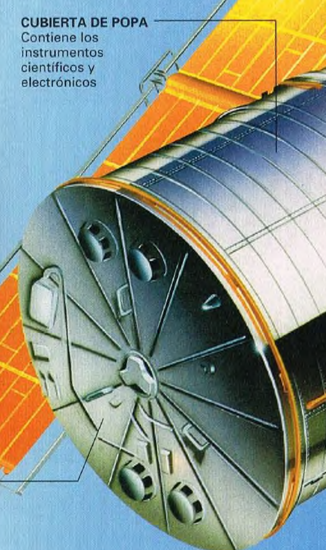
En 1962, un grupo de estudio de la Academia Nacional de Ciencias estadounidense recomendó la realización de un telescopio espacial, pero tuvo que transcurrir un decenio antes de que la NASA empezara a trabajar en la idea. En 1975, la Agencia Espacial Europea (ESA) entró a formar parte del proyecto. Tres años después, el Congreso norteamericano aprobó la financiación del proyecto, y el telescopio espacial empezó a tomar cuerpo. Se le llamó telescopio espacial Hubble, en honor del citado pionero de la cosmología.

LA CONSTRUCCIÓN DEL HUBBLE

El Marshall Space Flight Center de la NASA se encargó de proyectar, desarrollar y construir el HST. Para la construcción, se firmaron dos contratos principales: uno con Perker-Elmer, responsable de la parte óptica, y otro con Lockheed, responsable de la parte mecánica.



Los dos paneles solares gigantes del telescopio fueron sustituidos durante la misión de reparación de 1993. El HST es modular, lo que significa que sus distintas partes pueden ser fácilmente sustituidas, incluso en el espacio.



CUBIERTA DE POPA
Contiene los instrumentos científicos y electrónicos

MÓDULO DE LOS INSTRUMENTOS
El módulo de los instrumentos consta de:

- **CÁMARA PLANETARIA DE GRAN CAMPO (WFPC-2)**
Esta cámara fotografía con detalle los planetas del sistema solar y busca otros sistemas planetarios
- **SISTEMA ÓPTICO CORRECTOR (COSTAR)**
Contiene cinco pares de espejos para hacer más nítidas las imágenes de la FOC, el FOS y el HRS
- **ESPECTRÓGRAFO PARA OBJETOS TENUES (FOS)**
Analiza la luz procedente de fuentes tenues y distantes
- **CÁMARA PARA OBJETOS TENUES (FOC)**
Para las estrellas y galaxias distantes y tenues
- **ESPECTRÓGRAFO DE ALTA RESOLUCIÓN (HRS)**
Recibe y analiza la luz ultravioleta de estrellas y galaxias
- **MAGNETÓMETRO**
Mide la posición de la nave respecto al campo magnético de la Tierra
- **SENSORES PARA LA DIRECCIÓN**
Apuntan a las estrellas de referencia para orientar el telescopio en la dirección necesaria

ANTENA DE ALTA GANANCIA
Transmite los datos de los instrumentos al satélite TDRS, que permite el intercambio de datos entre la Tierra y los satélites o las naves en órbita

PANTALLA LIGERA
Evita que entre luz perturbadora en el tubo del telescopio

PUERTA DE APERTURA
Se abre para que la luz pueda entrar en el telescopio

ESPEJO SECUNDARIO
El espejo secundario, de 30 cm de diámetro, recoge la luz procedente del espejo primario. Ésta se refleja hacia atrás, atraviesa un orificio del espejo primario hasta los instrumentos que sirven para analizarla

ESPEJO PRIMARIO
Este espejo de 2,4 m de diámetro recoge la luz y la dirige hacia el espejo secundario

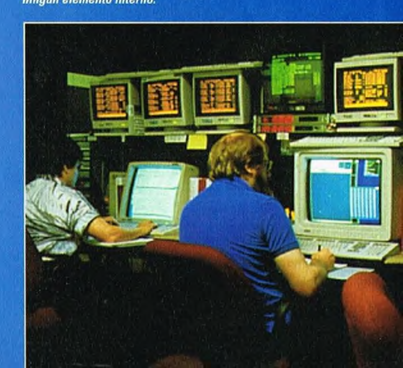
La nave puede girar alrededor de sus ejes ópticos para que los paneles queden expuestos a la luz solar

DATOS

HST (telescopio espacial Hubble)

Lanzamiento: 25 de abril de 1990
Vehículo lanzador: transbordador espacial Discovery
Longitud: 13,3 m
Diámetro: 4,3 m
Anchura total: 12 m
Peso: 11 toneladas
Órbita: casi circular, 612 x 620 km

Los ingenieros del Goddard Space Flight Center de Maryland deben realizar un control permanente de los sistemas ópticos y mecánicos del telescopio. Después de la misión de 1993, realizaron un control durante 13 semanas para asegurarse de que los astronautas no habían golpeado o cambiado de lugar ningún elemento interno.





PANELES SOLARES
Los dos paneles de 12 x 2,8 m llevan 50.000 células de energía solar y suministran una potencia eléctrica de 4,5 kW

Todos los sistemas críticos del telescopio se proyectaron de manera modular, para que pudieran ser reparados o sustituidos cuando el HST estuviera en órbita.

El Goddard Space Flight Center de Greenbelt, situado en Maryland, se encargó de construir los instrumentos científicos del HST y, después del lanzamiento, se convirtió en el centro de control terrestre del telescopio; cerca de Baltimore se creó el Space Telescope Science Institute. El espejo de 2,4 m de diámetro se acabó de construir en 1981. Los ensayos de los instrumentos científicos comenzaron en 1983, y la estructura destinada a albergar el telescopio quedó terminada dos años más tarde. Estaba previsto lanzar el HST con un transbordador espacial al año siguiente, pero la fecha de lanzamiento fue postergada debido a la dramática explosión del Challenger en enero de 1986.

EL HST EN ÓRBITA

Finalmente, el 25 de abril de 1990 el transbordador Discovery transportó el telescopio al espacio (misión STS-31). Al día siguiente, el brazo mecánico del Discovery extrajo el HST de la bodega del transbordador, lo colocó en la órbita adecuada y se retiró. Los paneles solares del telescopio se abrieron correctamente y la tripulación del Discovery regresó a la Tierra exultante. El gran telescopio había sido puesto en órbita con éxito y, como demostraban los primeros ensayos, funcionaba perfectamente. Durante más de tres semanas, los científicos e ingenieros del Goddard Space Flight Center controlaron los distintos componentes del telescopio.

UNA IMAGEN DESENFOCADA

El 20 de mayo de 1990, los científicos y los astrónomos esperaban con ansiedad la primera imagen. Y vino entonces la desagradable sorpresa. Por más que ajustaban los instrumentos de a bordo, obtenían siempre una imagen desenfocada. El espejo principal adolecía de un defecto conocido en óptica como aberración esférica, lo que significaba que la curvatura del espejo no era lo bastante precisa como para enfocar exactamente la luz que incidía en su superficie. El defecto era inherente a la construcción del espejo. La curvatura de la superficie tenía un error de apenas dos centésimas del grosor de un cabello, pero



Arriba, la imagen, tomada por el telescopio Hubble, muestra un primer plano de la nebulosa de Orión, una nube de polvo y gas situada en la Espada de la constelación del mismo nombre. Esta nebulosa, que apenas puede observarse a simple vista, tiene un gran interés para los astrónomos porque es una extensa área de formación estelar. Las imágenes, de alta calidad, permiten a los astrónomos estudiar estrellas individuales situadas más allá de la Vía Láctea, una tarea imposible antes del Hubble.

EL HUBBLE EN ACCIÓN

Al estar situado más allá de la atmósfera terrestre, el telescopio HST tiene una capacidad de observación 10 veces más precisa que los observatorios terrestres. Además, puede realizar observaciones en el ultravioleta, observación imposible desde la Tierra debido a la importante absorción de estas radiaciones por parte de la atmósfera. En el dibujo, algunos descubrimientos del HST.

Imágenes detalladas de las densas nubes impregnadas de azufre que cubren la superficie de Venus

En Europa (el segundo satélite de Júpiter), el HST ha descubierto una tenue atmósfera de hidrógeno.

Se ha observado que la galaxia de Andrómeda posee un núcleo doble. Los dos componentes distan entre sí 5 años luz

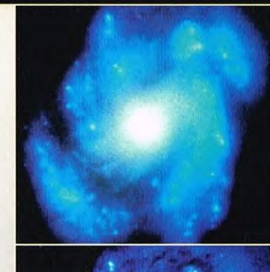
La franja de manchas oscuras, temporalmente presentes en Júpiter en 1994, dio fe del impacto del cometa P/Shoemaker-Levy con la atmósfera del planeta

A 600 KM DE LA TIERRA

Nada más entrar en funcionamiento el telescopio espacial Hubble, se puso en evidencia que algo andaba mal en su sistema óptico. Un ligero defecto de curvatura del espejo primario impedía un enfoque correcto; por esta razón, las imágenes transmitidas a la Tierra estaban desenfocadas. El 2 de diciembre de 1993, siete astronautas partieron a bordo del transbordador espacial Endeavour con la misión de reparar el telescopio. El 4 de diciembre, el gigantesco brazo del Endeavour agarró el HST y lo introdujo en la bodega del transbordador. Durante una semana entera, los astronautas hicieron una serie de turnos de cinco horas en el espacio, a más de 600 km sobre la superficie terrestre, para reparar el telescopio.

LA SUSTITUCIÓN DEL SISTEMA ÓPTICO

Se instaló una nueva cámara planetaria de gran campo (WFPC-2), de 1,40 x 1,20 metros, dotada de lentes especiales para mejorar la visión del HST. Fueron sustituidos los giroscopios, el magnetómetro y las células solares, y se instaló un dispositivo llamado COSTAR, que pasó a ocupar el lugar del fotómetro de alta velocidad. El COSTAR, cuyas dimensiones son las de una cabina telefónica, posee unas lentes especiales para corregir las distorsiones provocadas en los instrumentos por el defecto del espejo primario. El 1 de enero de 1994, la FOC transmitió a la Tierra su primera imagen. Gracias al buen funcionamiento del COSTAR, el HST estaba en condiciones de desarrollar su enorme potencial.





A la derecha, la galaxia M100, situada en el cúmulo de la Cabellera de Berenice, fotografiada antes y después de la misión de diciembre de 1993.

era suficiente para producir imágenes desenfocadas. En los meses siguientes, el tratamiento por ordenador de los datos recogidos por el Hubble permitió mejorar la nitidez de las imágenes, pero no resultaban mucho mejores que las que obtenían los más potentes telescopios terrestres.

Se hicieron planes para adelantar a 1993 la primera misión de servicio, que debía instalar un dispositivo óptico corrector. Con el paso del tiempo, el Hubble presentó otros problemas. Cuando el telescopio pasaba de la noche al día, el rápido aumento de la temperatura (unos 200 ºC) producía una deformación de los paneles solares, que provocaba una vibración de toda la estructura, empeorando todavía más las imágenes. Además, dos de los seis bloques de memoria del telescopio y tres de los giroscopios dejaron de funcionar.

En la misión de reparación de diciembre de 1993 estaban en juego el futuro del proyecto HST y la reputación misma de la NASA. Afortunadamente, la misión tuvo más éxito del que nadie hubiera podido esperar. Tras la incorporación de fibras ópticas correctoras y de una nueva telecámara planetaria de gran campo, destinada a corregir el defecto del espejo principal, el HST empezó por fin a transmitir a la Tierra unas imágenes perfectas. Más de tres años después del lanzamiento, el telescopio estaba en condiciones de convertirse en una nueva ventana sobre el universo.



El astronauta Story Musgrave, sujeto por el brazo mecánico del transbordador espacial Endeavour, durante la misión de reparación de 1993. La tripulación del Endeavour trabajó durante una semana y realizó un paseo espacial de ocho horas, el más largo de la historia.

NAVEGAR CON LOS SATÉLITES

El Global Positioning System es una red de satélites que identifica con extrema precisión cualquier posición, y gracias a la cual es imposible perderse.



Hasta hace poco, todo aquel que se aventuraba en pleno océano sólo disponía para calcular su posición de la observación de las estrellas o del uso de la brújula y el sextante. Ahora, gracias a la moderna tecnología de los satélites, es posible efectuar esta operación de un modo más sencillo. Con la simple presión de un botón de un pequeño instrumento portátil, el Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global), podemos determinar nuestra posición con un error de pocos metros. Esta tecnología va destinada a pilotos, marinos, alpinistas y a cualquier individuo que desee o deba conocer su propia posición con un margen de error muy pequeño.

El empleo de satélites para la navegación o la determinación de localizaciones no es nuevo. En 1959, la Marina militar norteamericana lanzó su primer satélite Transit para uso de los submarinos lanzamisiles Polaris y de los buques de combate de superficie; este sistema permitía determinar la posición con un error de 150 metros.

El Global Positioning System es todavía más preciso. Establecido y controlado por las fuerzas armadas estadounidenses, utiliza una red de 24 satélites Navstar, 21 de los cuales están en activo y tres son de reserva, colocados en seis planos orbitales que se cruzan a una altura de 20.000 km. El primero de estos satélites fue lanzado en 1978, pero el sistema no llegó a ser operativo hasta 1987, cuando hubo en órbita 12 satélites; en diciembre de 1993, la red quedó completada.

DATOS MUY PRECISOS

Los datos procedentes del GPS son tan precisos que los militares norteamericanos empezaron a temer que pudieran ser utilizados por sus adversarios. Por precaución, cada satélite transmite simultáneamente dos señales de posición. Una, llamada código P, es una señal cifrada, utilizada por las fuerzas armadas de Estados Unidos, que da la posición con una precisión de 15 m; este sistema, sin embargo, recurre a un código especial que se cambia

El Global Positioning System ha revolucionado el desarrollo de las regatas oceánicas. Ahora, los regatistas pueden averiguar su posición mediante la simple presión de un botón.

diariamente. La otra, llamada código CA, facilita la posición a las líneas aéreas, la navegación comercial y otros usuarios civiles. Su precisión es de 100 metros.

El cifrado de las señales se introdujo en 1990, durante la guerra del Golfo; en aquella ocasión, muchos científicos, entre los que se encontraban geólogos japoneses que estaban empleando el GPS para estudiar el movimiento de las placas litosféricas, se vieron obligados a interrumpir su trabajo. De todos modos, las señales civiles no permanecieron mucho tiempo interrumpidas; la demanda de receptores militares fue tan grande que los aliados de Estados Unidos se vieron obligados a comprar receptores comerciales para leer las señales civiles.



Actualmente, el GPS es indispensable para el trabajo o el tiempo libre de muchos usuarios civiles. Cualquiera, a cambio de un precio no muy elevado, puede obtener lecturas precisas de la propia posición. Se mejoran así las prestaciones de las brújulas magnéticas, que a veces proporcionan falsas lecturas.

LA TRIANGULACIÓN

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se basa en el principio de la triangulación. Si sabemos que nos encontramos a 5 km de un lugar, a 3 de otro y a 7 de un tercero, podremos determinar fácilmente nuestra posición. Basta trazar tres circunferencias, cada una de ellas de radio igual a la distancia al punto considerado, y hallar en qué punto se cortan.

El mismo principio se aplica al sistema que utiliza señales procedentes de satélites, pero en tal caso son necesarios cuatro puntos de referencia en vez de tres, porque no es posible conocer la distancia a la que se encuentran los satélites individuales. Para tal fin, es necesario conocer el tiempo que tarda la señal en llegar al receptor. Dicha información la da una señal temporizada emitida por un cuarto satélite. Cada satélite Navstar está equipado con relojes atómicos de gran precisión (una milmillonésima de segundo). Se multiplica el tiempo empleado por las señales en llegar al aparato receptor por la velocidad de la luz. El receptor calcula así la distancia entre su posición y la de cada satélite, y obtiene su posición exacta. El GPS fue diseñado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos con objeto de suministrar datos para la navegación de las fuerzas armadas. Dicho sistema constituye hoy en día un instrumento indispensable para muchos usuarios civiles de todo el mundo, sobre todo para los científicos y para el sector del transporte. Ha servido también para ayudar a la construcción del túnel de la Mancha y para poner al día mapas geográficos de todo el mundo.



Así se calcula la posición de un barco con el GPS (a la derecha). Las señales procedentes de tres satélites Navstar son captadas por receptores instalados en el barco.

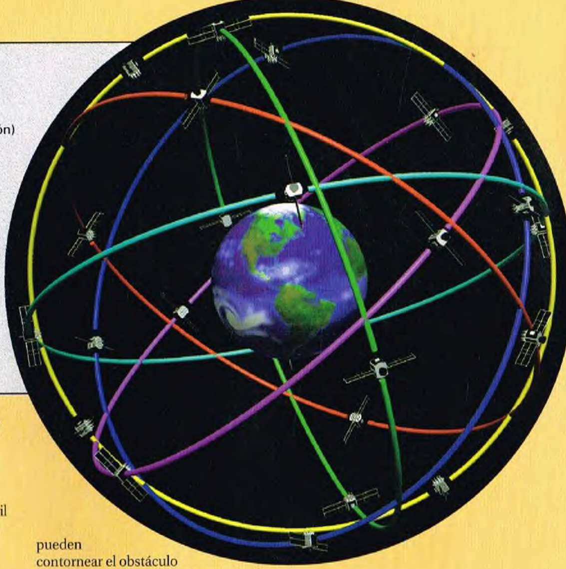
15°
FIDJI
20°
170°
175°
180°
25°
4
20° S 175°E

Una señal temporizada procedente de un cuarto satélite (a la izquierda) permite al receptor de la nave determinar su propia posición. Las señales de radio emitidas por los satélites Navstar son enviadas en forma de una secuencia de caracteres cifrados, transmitidos en el mismo instante.

DATOS

GPS NAVSTAR

Peso en el lanzamiento: Block 1 (primera versión) 773 kg; Block 2 (segunda versión) 1.715 kg
Anchura (incluidos los paneles solares): 5,33 m
Órbita: órbitas circulares en seis planos, con cuatro satélites en cada plano. Los satélites están posicionados de modo que siempre son visibles cuatro desde la Tierra
Inclinación: 55 grados
Período orbital: 12 horas
Altitud: 20.000 km
Primer lanzamiento: 22 de febrero de 1978
Estado actual: 24 satélites en órbita, incluidos tres de reserva
Vector de lanzamiento de los Navstar: Atlas-F para Block 1 y Delta 2 para Block 2



EL CONFLICTO CON LAS LÍNEAS AÉREAS

Al poco tiempo, estalló una disputa entre el Departamento de Defensa y las autoridades de la aviación civil. Éstas deseaban un sistema de posicionamiento más preciso para una parte de los aviones comerciales, pues normalmente la señal civil no basta para garantizar los aterrizajes de precisión.

La International Civil Aviation Organisation (Organización Internacional de la Aviación Civil) declaró en 1991 que en el siglo XXI los satélites serían indispensables para la navegación de los aviones comerciales. El gobierno de Estados Unidos se comprometió a dar cumplimiento a esta petición anunciando que el GPS estaría disponible para los usuarios de todo el mundo 10 años, por lo menos.

A finales de 1993, el Departamento de Defensa norteamericano aceptó gestionar el sistema conjuntamente con el Departamento de Transporte. No obstante, todavía hoy, la gestión del GPS corre a cargo de los militares, que siguen conservando la potestad de cifrar las señales. Pero las estaciones terrestres, cuya posición es conocida con exactitud, pueden contornear el obstáculo transmitiendo las correcciones relativas a las posiciones indagadas, con lo que se reduce el margen de error hasta tres metros.

Últimamente, se ha realizado la propuesta de instalar un sistema de navegación global vía satélite, el GNSS (Global Navigation Satellite System), controlado por autoridades de la aviación civil y basado en algunos de los sistemas vía satélite: el GPS norteamericano, el sistema de navegación global vía satélite ruso (GLONASS), 66 satélites Iridium, que serán lanzados por un consorcio privado, y el sistema Immarsat, de la International Maritime Organisation (Organización Marítima Internacional).

El GPS (arriba) ha provocado una auténtica revolución. Las señales son casi inmunes a cualquier perturbación y pueden ser captadas incluso por instrumentos portátiles, cualesquiera que sean las condiciones externas: vehículos en el corazón del bosque, barcos pequeños en pleno océano, etc.

SALVAMENTO INTERNACIONAL



El programa Cospas-Sarsat es un sistema internacional de búsqueda y salvamento gestionado por Estados Unidos, Francia, Canadá y Rusia que utiliza cuatro satélites colocados en órbitas casi polares, a una altura de entre 800 y 1.000 km. Cada satélite lleva unos instrumentos diseñados para retransmitir las señales emitidas por los radiofaros de emergencia.
Los barcos y los aviones en dificultades, que se encuentren en lugares perdidos, pueden emplear este sistema para facilitar el trabajo de búsqueda de los equipos de socorro. Los radiofaros transmiten en dos frecuencias distintas. A 121,5 MHz , las señales continuas de demanda de socorro son transmitidas vía satélite a una estación en tierra. Así se logra calcular la posición de quien está en peligro con una precisión de 5-10 km. A 406 MHz, la señal envía un código que identifica el medio en dificultades. Las radioboyas que emiten a esta frecuencia pueden ser localizadas con una precisión de 3 km.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

LA LUZ DE LA VIDA

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LA VÍA LÁCTEA

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

LA OSA MAYOR

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LA GRAVEDAD

EL USO DEL ESPACIO

SUPERAR LAS BARRERAS

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

2



PLANETA DeAGOSTINI

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Abril 1998

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta; Science Photo Library: 21, 25, 26, 40a; NASA: 21b der., 23b, 24a. c, 24-25b, 26a izd., 27a, 30b, 36, 38a der. 38-39b, 39a, 39 der., bc, c; David Hardy: 22b; Hugh Roland: 22-23; Farrows:.23a, 26b, 27b; Galaxy Picture Library: 26a der.; Popperfoto: 28b; SPL/J. Baum and N Henbest: 28a, 31c; SPL/Fred Espenak: 28-29; US Naval Observatory: 29; NOAO/SPL: 32b; Bristock-IFA: 34-35a; NASA via Focus: 38b izd.
Dibujo: Julian Baum: 30-31; Sandra Russell/Black Hat: 32a; DI.DO.t: 33; Hugh Roland: 34, 35, 36-37; Tom Connell: 40b.

PLANETA DeAGOSTINI

LA LUZ DE LA VIDA

El Sol es una fuente de energía que domina el sistema solar. Su fuerza de gravedad mantiene los planetas en órbita, y su calor posibilita la vida en la Tierra.



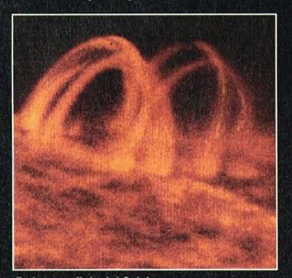
Por término medio, la Tierra dista del Sol unos 150 millones de km, distancia que la luz recorre en 8 minutos. Las demás estrellas se encuentran más lejos: por ejemplo, la luz procedente de *Proxima Centauri* (la estrella más cercana al Sol) tarda más de cuatro años en recorrer la distancia que la separa del astro.

Las observaciones científicas efectuadas indican que el Sol es una estrella de tamaño medio y luminosidad media, y que en el cielo hay innumerables estrellas más grandes y brillantes. Entonces, ¿por qué el Sol nos parece tan luminoso y caliente? Porque está muy cerca.

UNA ESFERA DE GAS

El Sol es una enorme esfera de gas incandescente, compuesta esencialmente de hidrógeno y helio, con un diámetro de 1,4 millones de km. El volumen del Sol es tal que en su interior caben más de un millón de planetas como el nuestro, y para igualar su diámetro, sería necesario colocar 109 planetas como la Tierra uno al lado del otro.

En el centro de la estrella se encuentra el núcleo, cuya temperatura alcanza los



En la superficie del Sol, intensos campos magnéticos producen erupciones de gases muy calientes. En la fotografía sobre estas líneas se ven chorros de gas que siguen las líneas del campo magnético solar y dan origen a protuberancias en forma de arco.

15 millones de grados centígrados y donde tiene lugar el proceso de fusión nuclear, gracias al cual el hidrógeno se convierte en helio. En el curso de estas reacciones, la materia se transforma en energía al ritmo de 4 millones de toneladas por segundo. Sin embargo, la energía que produce esta especie de central nuclear tarda mucho en llegar a la superficie del Sol: unos 10 millones de años.

EL INTERIOR DEL SOL

La energía radiante, que se difunde desde el núcleo hacia el exterior del Sol, en forma de rayos X y gamma, viaja a través de una región interior llamada zona radiativa.

Esta zona está rodeada por la zona convectiva, en cuyo seno los gases, calentados por la radiación procedente de la zona radiativa, se expanden y suben a la superficie, liberando la energía absorbida. En este proceso los gases se enfrían, se hacen más densos y vuelven a bajar, completando así el proceso. El mecanismo, simplificado, es similar al que tiene lugar en los calentadores caseros y que se conoce como convección.

LA SUPERFICIE

La superficie luminosa del Sol se llama fotosfera (esfera de luz). Pese a su aspecto compacto, no es sólida, sino gaseosa. Constituye la zona limítrofe entre la densa y opaca masa gaseosa de las regiones centrales del Sol y el material más delgado y transparente del exterior.

Al observar una imagen ampliada de la fotosfera se advierte su aspecto granuloso, producto de las corrientes de gas caliente que suben a la superficie y vuelven a bajar

LA ESTRUCTURA DEL SOL

El Sol es una enorme esfera de gas que puede subdividirse en diferentes zonas o estratos. En el centro se encuentra el núcleo, donde el hidrógeno se transforma en helio a través de un proceso de fusión nuclear. La energía liberada en este proceso pasa de la zona radiativa a la zona convectiva y finalmente de ésta a los estratos más exteriores del Sol, produciendo numerosas y espectaculares formas visibles en la superficie del astro.



UNA CENTRAL NUCLEAR NATURAL

El Sol está formado por hidrógeno y helio. En el interior de su núcleo, donde la presión y la temperatura alcanzan valores muy elevados, tienen lugar reacciones violentísimas. Como el calor es demasiado elevado para que puedan formarse átomos completos de hidrógeno y helio, hay una mezcla de electrones y núcleos atómicos que se mueven a velocidades increíbles. A tales velocidades, los núcleos chocan con frecuencia. A veces, dos núcleos de hidrógeno se encuentran y se unen en un proceso llamado fusión nuclear. Esta reacción produce un núcleo de hidrógeno pesado: deuterio o ^{2}H. A éste puede unírsele luego otro núcleo de hidrógeno para formar un isótopo ligero del helio llamado



helio-3 o ^{3}He. La colisión de dos núcleos de helio-3 (que libera nuevamente dos núcleos de hidrógeno) da lugar a un núcleo de helio ordinario (helio-4 o ^{4}He), que contiene dos protones y dos neutrones. En cada etapa del proceso se forma un núcleo más masivo y se libera una enorme cantidad de energía.

Protuberancias en forma de arco

Núcleo

Zona radiativa

Zona convectiva

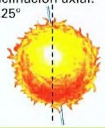
Fotosfera

Cromosfera

DATOS

Diámetro en el ecuador: 1.392.000 km
Período de revolución alrededor del centro de la Galaxia: 225 millones de años
Período de rotación (en el ecuador): 25 días
Masa (respecto a la Tierra): 332.946
Volumen (respecto a la Tierra): 1.303.600
Temperatura de la superficie: 5.770 °C
Temperatura del núcleo: 15.000.000 °C
Gravedad en la superficie (respecto a la Tierra): 27,9
Luminosidad: 3,9 x 10^{26} W

Inclinación axial: 7,25°



Rotación diferencial



La rotación diferencial explica el hecho de que la masa gaseosa del Sol gire a distintas velocidades: 25 días en el ecuador y 34 en los polos.

hasta la zona convectiva. La parte superior de estas columnas de gas forma unos penachos, conocidos como gránulos, de cientos de kilómetros de diámetro, de los que hay millones en la fotosfera. Su vida media es de sólo 10 minutos, por lo que la superficie del Sol está cambiando constantemente.

LA CROMOSFERA

Alrededor de la fotosfera está la cromosfera (esfera coloreada), de color rojizo, compuesta básicamente de hidrógeno gaseoso. La cromosfera es difícil de observar porque se encuentra junto a la deslumbrante fotosfera. Las mejores ocasiones para hacerlo se presentan durante los eclipses totales de Sol, cuando la fotosfera está oscurecida por la Luna.

Los gases de la cromosfera no están distribuidos de modo uniforme como en las atmósferas de los planetas sino concentrados en algunas regiones alrededor de las manchas solares, que son zonas más frías, donde forman unas densas nubes de gas llamadas fáculas.



En los eclipses totales de Sol, la cromosfera aparece como un anillo de luz rosa. Esta zona no puede observarse porque lo impide la intensa luz emitida por la fotosfera. En la imagen se pueden advertir algunas protuberancias solares que atraviesan la cromosfera. Las zonas de luz azulada forman parte de la corona más externa.

En otros lugares, los gases se concentran formando unas llamaradas tenues y luminosas, denominadas espículas. Se trata de chorros gaseosos parecidos a estrechas lenguas llameantes que se alzan hasta 10.000 km por encima de la fotosfera durante un máximo de 5 minutos. Las espículas rodean unas enormes burbujas de gas, los supergránulos, de hasta 30.000 km de diámetro, que aparecen, se expanden y vuelven a hundirse como los gránulos, pero duran más tiempo, hasta 12 horas.

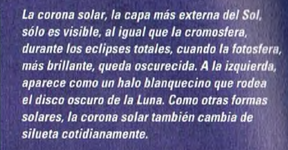
PROTUBERANCIAS Y FULGURACIONES

La cromosfera expulsa al espacio unas gigantescas masas de gas incandescente, llamadas protuberancias, de más de 100.000 km de longitud media. Algunas forman gigantescos arcos que siguen las líneas del campo magnético solar y alcanzan temperaturas superiores a los 10.000 °C.

Las protuberancias pueden ser de varias clases: protuberancias activas o eruptivas, extremadamente violentas y de escasa duración; y protuberancias quiescentes, que son mucho más tranquilas y subsisten durante varias semanas. Como las manchas solares, se manifiestan durante los períodos de máxima actividad del Sol.

La imagen de una protuberancia activa, originariamente tomada en blanco y negro por la estación espacial estadounidense Skylab, muestra las diferencias de luminosidad a través de las zonas coloreadas con posterioridad.





La corona solar, la capa más externa del Sol, sólo es visible, al igual que la cromosfera, durante los eclipses totales, cuando la fotosfera, más brillante, queda oscurecida. A la izquierda, aparece como un halo blanquecino que rodea el disco oscuro de la Luna. Como otras formas solares, la corona solar también cambia de silueta cotidianamente.



A la derecha, la corona se extiende a través de millones de kilómetros. La fotografía, tomada por el Skylab de la NASA, muestra los niveles de luminosidad con diferentes colores. El Sol es el disco oscuro situado en el centro de las manchas coloreadas.

En cambio, las fulguraciones son fenómenos provocados por emisiones imprevistas de energía, que calientan y aceleran la materia presente en la atmósfera; lanzan una cantidad enorme de radiaciones y partículas eléctricamente cargadas. Pueden alcanzar una luminosidad máxima en pocos minutos, perviven durante una hora aproximadamente y desaparecen.

Las fulguraciones emiten tal cantidad de radiación que incluso provocan efectos significativos en nuestro planeta: por ejemplo, pueden originar campos magnéticos capaces de interferir las transmisiones de radio en la Tierra. Las partículas eléctricamente cargadas que proyectan pueden constituir también una amenaza para los astronautas en misión espacial.

LA CORONA

El estrato más exterior del Sol es la corona, una capa envolvente formada por hidrógeno muy diluido, a una temperatura que supera el millón de grados centígrados. Aunque normalmente sólo es visible durante los eclipses, la corona puede observarse con un instrumento llamado coronógrafo. Los gases que forman la corona no son muy luminosos, pero emiten gran cantidad de energía en forma de rayos X, que pueden ser detectados por telescopios adecuados.

EL VIENTO SOLAR

El Sol emite un flujo continuo de partículas ionizadas que se propagan por el espacio en todas direcciones. Este flujo, denominado viento solar, tiene una intensidad variable, asociada a la actividad de las manchas generalmente solares, y es responsable de muchos fenómenos, como la orientación de la cola de los cometas en sentido contrario al Sol.

Al llegar a la Tierra, el campo magnético terrestre captura las partículas ionizadas del viento solar. Algunas, arrastradas a través de la atmósfera, interactúan con los gases que se encuentran a unos 100 km de altitud y provocan la emisión de una luz visible desde el suelo, en forma de espectaculares y cambiantes bandas multicolores, llamadas auroras boreales. Las auroras son brillantes los días que siguen a los períodos de máxima actividad solar, cuando se producen fulguraciones muy intensas.

LAS MANCHAS SOLARES

Las formas más interesantes que se observan en el Sol son las manchas solares, pequeñas áreas que aparecen más oscuras que el resto de la fotosfera, porque su temperatura es más baja. Las manchas solares son brillantes, pero su temperatura, de unos 4.000 °C, es inferior a los 5.770 °C de las zonas circundantes.

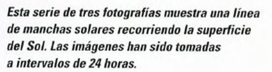
Las manchas, que pueden ser varias veces mayores que nuestro planeta, se crean a causa del intenso campo magnético del Sol, que impide en algunos puntos el ascenso de calor desde el interior y provoca la formación de regiones más frías y oscuras.



Una magnífica imagen de una aurora boreal, espectacular fenómeno causado por las partículas ionizadas del viento solar, visible en la Tierra a altas latitudes de ambos hemisferios. Estas partículas se mueven a velocidades de hasta 500 km/s. La mayoría son bloqueadas por el campo magnético terrestre, que actúa como un escudo; algunas, las de mayor carga eléctrica, logran penetrar en la barrera y, a una altitud de unos 100 km, reaccionan con las moléculas de la atmósfera dando origen a estos fantásticos fenómenos luminosos.



Las manchas solares presentan una forma irregular, como la que se representa en la fotografía superior. Una mancha solar de gran tamaño está formada por una región central oscura (la sombra), rodeada de una zona más clara (la penumbra). En la fotografía de la izquierda, las manchas solares aparecen más oscuras que la fotosfera porque son más frías.



Esta serie de tres fotografías muestra una línea de manchas solares recorriendo la superficie del Sol. Las imágenes han sido tomadas a intervalos de 24 horas.

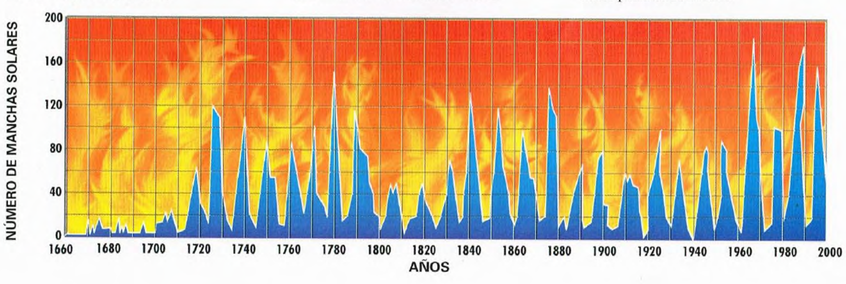
Aunque algunas manchas solares son circulares, la mayoría son irregulares y, a menudo, se presentan agrupadas. Una configuración típica es la formada por dos grandes manchas, una principal y otra secundaria, rodeadas por otras más pequeñas. En general, la duración de estos fenómenos oscila entre unas pocas horas y varios meses.

El Sol, como la Tierra, gira alrededor de su propio eje. Las manchas solares han ayudado a los astrónomos a determinar la velocidad de rotación del astro, dado que tardan 13,5 días en recorrer la cara visible del Sol de un extremo a otro y permanecen ocultas otros 13,5 días. Así pues, cada mancha vuelve a observarse en la misma posición al cabo de 27 días.

En realidad, el período de rotación del Sol con respecto a las estrellas fijas es de sólo 25 días. Pero en este tiempo la Tierra se ha desplazado a causa de su movimiento de traslación; el Sol, por lo tanto, debe girar dos días más para que una determinada mancha solar esté en la posición que ocupaba vista desde nuestro planeta.

La estructura gaseosa del Sol provoca un tipo de rotación denominada diferencial: las diferentes regiones giran a distinta velocidad, más lentamente cuanto más cerca se encuentran de los polos del astro. El período de rotación del Sol en el ecuador es de 25 días, mientras que en los polos es de 34 días.

El diagrama muestra la alternancia del número de manchas solares durante el ciclo solar. Las observaciones realizadas a partir del siglo XVII ponen de manifiesto que la máxima actividad del Sol se repite cada 11 años.

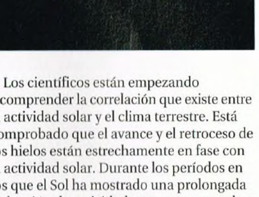




En 1994 y 1995, la sonda espacial Ulises, un proyecto conjunto de la NASA y la ESA (Agencia Espacial Europea), transmitió a los astrónomos las primeras observaciones de los polos Norte y Sur solares, desde una altitud de 300.000 km. Los instrumentos que lleva a bordo esta sonda han servido también para estudiar el viento solar, el campo magnético del astro y las explosiones que emiten radioondas y rayos X.

EL CICLO SOLAR

El número de manchas solares observables varía cada año y depende de la intensidad de la actividad del Sol, que sigue un ciclo regular de unos 11 años. Por lo tanto, podremos observar un número máximo de manchas cada 11 años, fase conocida como máximo solar. El último máximo solar tuvo lugar en 1991, y los próximos ocurrirán en los años 2002 y 2013.



Los científicos están empezando a comprender la correlación que existe entre la actividad solar y el clima terrestre. Está comprobado que el avance y el retroceso de los hielos están estrechamente en fase con la actividad solar. Durante los períodos en los que el Sol ha mostrado una prolongada reducción de actividad, con pocas manchas solares observables en los máximos, se ha advertido una disminución de la temperatura media de nuestro planeta.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

¡ATENCIÓN!

Nunca hay que mirar el Sol directamente, ni a simple vista ni con la ayuda de prismáticos o telescopios, ya que nuestra vista resultaría dañada. Los filtros oscuros y los vidrios coloreados consiguen bloquear por completo las radiaciones que constituyen un peligro para nuestros ojos.

A SIMPLE VISTA

NUNCA hay que mirar directamente el Sol.

CON UNOS PRISMÁTICOS

Unos prismáticos permiten proyectar una imagen del Sol sobre una pantalla, pero es necesario ser muy prudente para evitar un sobrecalentamiento. NUNCA hay que observar directamente el Sol con unos prismáticos.

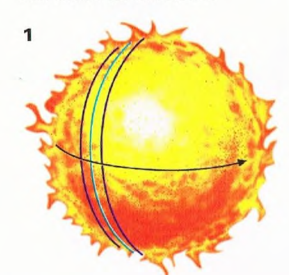
CON UN TELESCOPIO

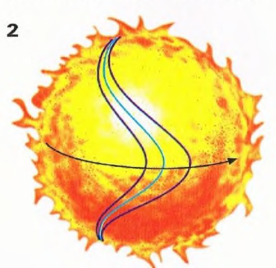
A menudo, los más expertos estudian el Sol proyectando, mediante un telescopio, su imagen sobre una pantalla. Hay que estar atento, sin embargo, a no sobrecalentar el instrumento, lo que podría dañar su mecanismo óptico.

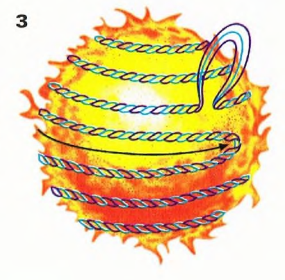
1. Las manchas solares se deben al hecho de que las líneas del campo magnético quedan modificadas por la mayor velocidad de rotación de los gases en el ecuador que en los polos.

2. Al cabo de un cierto tiempo, la mayor velocidad de rotación de los gases en el ecuador hace que las líneas de fuerza del campo magnético se alarguen y se deformen en la superficie del astro.

3. Las líneas del campo magnético se van retorciendo cada vez más hasta que la presión magnética provoca su erupción. En la base de las erupciones se forman las manchas solares.







LA VÍA LÁCTEA

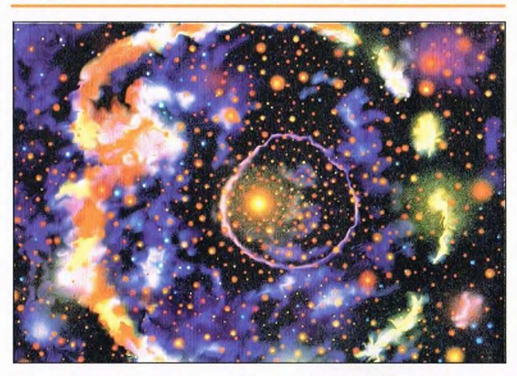


Imagen con colores artificiales que representa el centro de la Galaxia (el diámetro es de unos 1.000 años luz). La fuente luminosa visible en la zona central es Sagitario A, una región de formación de estrellas próxima al núcleo de la Galaxia. Se ha descubierto recientemente que esta densa región de gas y polvo contiene un agujero negro. El centro está rodeado por un anillo gaseoso (círculo rosado). El anillo externo muestra nubes moleculares (áreas anaranjadas) y de hidrógeno ionizado (área rosada).

Nuestra Galaxia aparece en el cielo nocturno como una franja brillante repleta de estrellas: la Vía Láctea.



El Sol es una estrella más entre los cientos de miles de millones de estrellas que, junto con nubes de gas y polvo, y otros objetos celestes, forman nuestra Galaxia.

Por la noche, desde avanzado el verano hasta el invierno, la Vía Láctea puede contemplarse en todo su esplendor como una franja en forma de arco que atraviesa el cielo (es el «Camino de Santiago»). Esta franja recorre toda la bóveda celeste y no es visible en su integridad desde ningún punto de la Tierra.

UNA FRANJA BRILLANTE

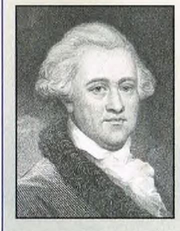
Se puede observar la Vía Láctea con una luminosidad máxima en las constelaciones meridionales del hemisferio sur, especialmente en la de Sagitario. Algunas de sus regiones son tan brillantes que pueden verse, incluso, desde las ciudades muy iluminadas del hemisferio austral y en las noches de luna llena.

El término Vía Láctea se remonta probablemente a los tiempos de la antigua Grecia e indica el aspecto opalescente de esta franja de estrellas. El término «galaxia» deriva de *gala*, que en griego antiguo significa «leche». La verdadera naturaleza de la Galaxia no se conoció hasta 1610, cuando el astrónomo Galileo, por medio de un rudimentario anteojo, demostró que estaba formada por millones de estrellas de poca luminosidad. En la actualidad, cualquiera puede repetir el experimento con unos buenos prismáticos. Hay sectores de la bóveda celeste que contienen poquísimas estrellas; si se observa, en cambio, la parte «lechosa», se puede vislumbrar un número incalculable de puntos luminosos.

UNA ESTRUCTURA EN FORMA DE ESPIRAL

Pese a su carácter elemental, las consideraciones hasta ahora expuestas contienen interesantes indicios sobre la estructura de nuestra Galaxia. Dado que la Vía Láctea recorre todo el cielo, la Tierra se encuentra dentro de ella. Como, además, la Galaxia es simétrica respecto a los hemisferios norte y sur, es muy probable que la Tierra se encuentre en mitad de su plano. No obstante, la Vía Láctea aparece mucho más gruesa y luminosa hacia la constelación de Sagitario que hacia la de Tauro, lo cual sugiere que nuestro sistema solar podría ocupar una posición excéntrica. Al observar las demás galaxias, los astrónomos han obtenido información suficiente para deducir la estructura de la nuestra. Vista desde el exterior, la Galaxia tiene una configuración espiral, común a otras muchas galaxias, como Andrómeda,

EL PRIMER MAPA DE LA GALAXIA



Las primeras mediciones científicas de la forma de la Galaxia fueron obra de William Herschel (1738-1822), uno de los más famosos astrónomos británicos, el mismo que en 1781 descubrió Urano. Con su telescopio de 48 cm, Herschel contó las estrellas de la Vía Láctea en distintas direcciones del cielo. En algunas descubrió una sola estrella por unidad de campo visual; en otras, en cambio, observó 500. Basándose en el supuesto de que las estrellas estaban igualmente distribuidas en todas direcciones, Herschel dibujó un esbozo de la Galaxia que evidenciaba su estructura aplanada.

Una imagen de la Vía Láctea tomada desde el observatorio de Las Campanas, en el norte de Chile. Esta fotografía se obtuvo con una cámara especial de gran angular que abarcaba todo el cielo estrellado. En los márgenes de la figura se advierten los edificios y las luces del observatorio.

una de las más próximas. En términos astronómicos, es una galaxia bastante común. El tamaño de la Galaxia es de 120.000 años luz, lo cual significa que la luz emitida por una estrella situada en un extremo de la Galaxia tarda 120.000 años en alcanzar el otro extremo.

UNA ENORME AGLOMERACIÓN DE ESTRELLAS

En la Vía Láctea hay más de 100.000 millones de estrellas que orbitan en torno al centro de la propia Galaxia. El Sol tarda más de 200 millones de años en completar su órbita galáctica, pero las estrellas situadas más al interior tardan la mitad de este tiempo.

La mayoría de las estrellas visibles parecen brillantes porque están cerca de nosotros. La estrella más brillante de nuestro cielo, Sirio, es también una de las más próximas; dista sólo 8,6 años luz de la Tierra. Otras estrellas, como Capella, Achernar y Deneb, distan unos 1.500 años luz, pero, aun así, también se ven brillantes desde la Tierra.

NUBES DE GAS

A lo largo del plano central de la Galaxia existen vastas regiones de polvo y gas llamadas nebulosas. Las nubes de polvo interceptan la luz de las estrellas más distantes situadas tras ellas. El centro de la Galaxia no es visible a causa de las espesas nubes que se interponen entre él y la Tierra.



EL CINTURÓN DE GOULD

Además de un enorme número de estrellas tenues, a lo largo de toda la Vía Láctea hay bandas de estrellas más luminosas. John Herschel (1792-1871), hijo del astrónomo británico William Herschel, fue el primero en observar una franja nítida de estrellas que luego fue estudiada por el astrónomo estadounidense Benjamin Gould (1824-1896). Este último descubrió que la banda estaba inclinada unos 16º respecto a la Vía Láctea. Dicha región del espacio, conocida actualmente como Cinturón de Gould, comprende las brillantes estrellas de Orión, las Pléyades y la constelación de Centauro.

En relación a la Galaxia, nuestra visibilidad es similar a la que tendríamos en un gran bosque. Si estuviéramos en el corazón del bosque y, al mirar en una dirección, viéramos que el número de árboles se reduce, podríamos concluir que el límite externo del bosque no está lejos. Ocurre lo mismo cuando, desde la Tierra, contemplamos la constelación de Tauro, donde las estrellas son menos numerosas. En cambio, mirar hacia el centro de la Galaxia, donde hay una mayor densidad de estrellas, sería lo mismo que mirar hacia las zonas más intrincadas del bosque. Las nubes de polvo, equivalentes en nuestra comparación al sotobosque, pueden limitar nuestro campo visual en algunas direcciones; otras zonas, en cambio, están libres y permiten ver las estrellas próximas.

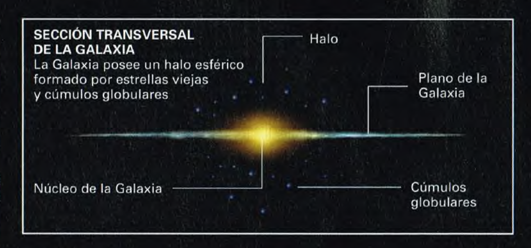
EL NÚCLEO CENTRAL

La Galaxia está formada por tres partes distintas: un núcleo central, un disco con brazos espirales que giran alrededor del núcleo y un halo esférico. El núcleo es un denso cúmulo esférico de estrellas viejas, rodeado por un bulbo central de menor densidad estelar y 12.000 años luz de diámetro. El disco formado por los brazos espirales se extiende por una zona de 50.000 años luz de radio a partir del núcleo. El halo, una esfera de estrellas viejas, muy distantes entre sí, con un diámetro de más de 120.000 años luz, rodea los brazos espirales.

Dentro de esta esfera hay cúmulos globulares, formados por estrellas viejas, y una pequeña cantidad de gas y polvo simétricamente distribuidos alrededor del núcleo. En cambio, la población estelar de los brazos espirales consiste, sobre todo, en astros jóvenes formados a partir de las nubes de gas y polvo situadas a lo largo del plano central del disco.

UNOS OBJETOS MISTERIOSOS

Desde hace tiempo, los astrónomos creen que en el centro de la Galaxia debe haber un objeto misterioso



ESTRUCTURA DE LA GALAXIA

Vista desde el exterior, la Galaxia presenta una forma espiral parecida a la de la vecina galaxia de Andrómeda. El núcleo central de estrellas agrupadas está rodeado por un disco de astros jóvenes arremolinados que constituyen los brazos espirales. La Galaxia contiene una esfera de estrellas todavía más viejas llamada halo, en cuyo seno se encuentran unos grupos de estrellas conocidos como cúmulos globulares.

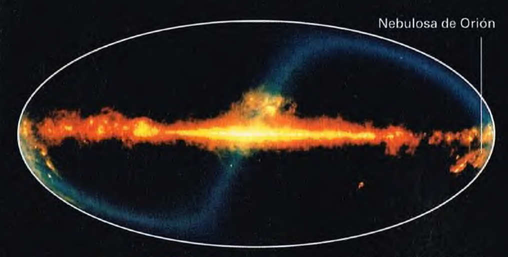
NÚCLEO
El núcleo de la Galaxia está constituido por un denso cúmulo de estrellas viejas. El Sol y las demás estrellas giran alrededor del núcleo atraídos por su fuerza de gravedad

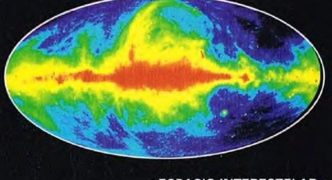
BULBO CENTRAL
Alrededor del núcleo se encuentra el bulbo central, un anillo menos denso de estrellas con unos 12.000 años luz de diámetro

BRAZOS ESPIRALES
Los brazos espirales, situados en torno al núcleo, forman un disco de 100.000 años luz de diámetro. Los brazos contienen estrellas jóvenes, es decir, estrellas de menos de diez mil millones de años. Estos astros se formaron a partir de nubes de gas y polvo, situadas a lo largo del plano central de la Galaxia

SISTEMA SOLAR
El Sol y los planetas de nuestro sistema solar se encuentran en el plano de la Galaxia a 28.000 años luz del centro de ésta

Abajo, imagen infrarroja, tomada por el Infrared Astronomical Satellite (satélite astronómico de infrarrojos), que muestra el plano central de la Galaxia. Los astrónomos utilizan detectores de infrarrojos para penetrar en las densas nubes de gas y polvo que ocultan el centro de la Galaxia. Las nubes de gas están representadas aquí por manchas amarillas.





Arriba, imagen infrarroja tomada por el vehículo espacial COBE de la NASA que muestra el polvo interestelar (la línea central dorada) a lo largo del plano de la Galaxia y el polvo interplanetario (la franja azulada en forma de S) en el plano del sistema solar. En el extremo de la derecha se observa la nebulosa de Orión, una región activa de formación de estrellas.

Arriba a la izquierda, mapa del cielo elaborado a partir de datos procedentes de varios radiotelescopios. La emisiones de radio más intensas, visibles a lo largo del plano de la Galaxia, se representan de color rojo. Los astrónomos han descubierto una intensa radiofuente en el centro de la Galaxia que ha resultado ser un agujero negro.

ESPACIO INTERESTELAR
Algunas regiones del espacio interestelar contienen pequeñas cantidades de materia; otras contienen gas y polvo

NUBES MOLECULARES
Las nubes moleculares (manchas anaranjadas), que contienen gas y polvo, son regiones de formación estelar

NUBES DE HIDRÓGENO GASEOSO
Las brillantes nubes gaseosas conocidas como nebulosas de emisión (manchas de color púrpura) constan básicamente de hidrógeno ionizado y son regiones de formación estelar. Hay también nubes de hidrógeno en estado atómico neutro (manchas amarillas)

que se sustrae a nuestra mirada por las nebulosas que se interponen.

Los científicos utilizan radiotelescopios, telescopios de infrarrojos y telescopios de rayos X para atravesar esta densa nube de polvo y gas, y estudiar lo que se encuentra más allá. Imágenes obtenidas con estos instrumentos revelaron la presencia de una intensa radiofuente hacia el centro de la Galaxia, al parecer, más pequeña que la órbita de Saturno alrededor del Sol, pero muchísimo más masiva que nuestra estrella.

El enigma se ha resuelto hace muy poco. Observaciones realizadas desde el Observatorio Europeo Austral, en Chile, han seguido el movimiento de 39 estrellas situadas a menos de dos años luz de la fuente de radioondas. De ellas se deduce que en el centro de la Galaxia existe un enorme agujero negro, una región del espacio de gravedad tan elevada que nada puede escapar de ella, pero que se delata por la atracción gravitatoria que ejerce sobre otros astros. Este agujero negro del centro de la Galaxia tiene una masa de dos millones y medio de soles concentrada en una esfera poco mayor que el Sol. De todos modos, el objeto no es ni mucho menos de los mayores a escala cósmica, pues se sabe de agujeros negros en otras galaxias cuatrocientas veces más masivos.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

LA VÍA LÁCTEA

La franja opalescente de la Vía Láctea está formada por miles de millones de estrellas densamente agrupadas y no es visible en su integridad desde ningún punto de la Tierra. Durante el período del año más favorable a la observación, las regiones más brillantes próximas al centro de la Galaxia ofrecen a simple vista un maravilloso espectáculo desde ambos hemisferios.

EN EL HEMISFERIO NORTE

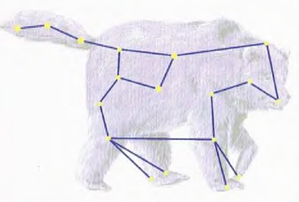
En el hemisferio norte el mejor período para observar la Vía Láctea es el mes de agosto. El centro de la Galaxia es visible en la parte baja del cielo hacia el sur. Avanzado el año, la Vía Láctea se encuentra a primeras horas de la noche sobre la cabeza del observador, pero en enero sólo se puede ver la parte menos brillante opuesta al centro.

EN EL HEMISFERIO SUR

Para los habitantes del hemisferio sur, los mejores meses para observar la Vía Láctea son también los de julio y agosto, cuando el centro de la Galaxia, situado en la constelación de Sagitario, se encuentra a gran altura en el cielo. Durante la primera parte del año se pueden observar las regiones más oscuras de las constelaciones de la Popa y de la Vela, donde la Vía Láctea es menos espectacular.

LA OSA MAYOR

La Osa Mayor, evocada en los relatos tradicionales de muchos pueblos, es una de las constelaciones que más han estimulado la imaginación de los hombres.



Constelación de la Osa Mayor* (Ursa Major). *Las siete estrellas brillantes próximas a la cola de la osa forman el llamado Carro.

La constelación de la Osa Mayor es también una de las más grandes. Se la conoce sobre todo por un grupo de siete estrellas que forman el llamado Carro. Los antiguos latinos identificaron la figura con un grupo de siete bueyes; otros pueblos vieron una cacerola, una olla o un arado...

Cinco de las siete estrellas del Carro forman parte de una asociación estelar, es decir, de un grupo de estrellas realmente próximas entre sí. Normalmente ocurre lo contrario, pues las estrellas que pertenecen a una misma constelación suelen estar en realidad muy alejadas unas de otras. Se ha conseguido descubrir este hecho midiendo las distancias que nos separan de las estrellas y observando sus movimientos propios. Los de las cinco estrellas mencionadas eran parecidos, por lo que los astros debían pertenecer a un único grupo.

M101 es una bella galaxia situada cerca de la cola de la Osa Mayor; su orientación nos permite verla con todo detalle y admirar los brazos espirales que rodean el núcleo.



CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

La Osa Mayor sirve como punto de partida para encontrar otras constelaciones. Para localizarla basta mirar hacia el norte; el término «septentrión» deriva de la expresión latina *septem triones* (siete bueyes), que son visibles hacia el norte.

ESTRELLAS NOTABLES

La estrella más interesante de la constelación es Zeta *Ursae Majoris* (magnitud 2,5), una notable estrella múltiple llamada también Mizar. Ésta consta en realidad de dos estrellas, Mizar A, la más luminosa (magnitud 2), y Mizar B (de magnitud comprendida entre 4 y 5). Para poder distinguirlas hay que utilizar un telescopio de varias decenas de aumentos. Hoy sabemos que estas estrellas no nos parecen próximas por un efecto de perspectiva, sino que lo están realmente: la atracción gravitacional que se ejercen hace que orbiten una alrededor de la otra.

Cerca de la pareja Mizar A y Mizar B (que habitualmente se llama simplemente Mizar) se distingue a simple vista Alcor, una estrella de magnitud 4.

Podemos proseguir la exploración de esta constelación considerando Alfa o Dubhe (magnitud 1,8), así como Beta o Merak (magnitud 2,4). Aunque carecen de peculiaridades dignas de reseñar (Dubhe es una estrella doble con una compañera demasiado próxima para verla con un telescopio de aficionado), estas estrellas son muy importantes porque permiten encontrar la Estrella Polar, que forma parte de la vecina constelación de la Osa Menor. Para llegar a la Estrella Polar, basta contar en la dirección de la recta que une ambas estrellas una longitud igual a cinco veces la distancia que las separa.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

LA OSA MAYOR

Según una leyenda de las poblaciones indias norteamericanas, las estrellas del Carro representan dos osos, cuatro lobos y un perro de caza que acompañaba a los lobos en sus batidas. Los lobos y el perro se aventuraron en el cielo para cazar los dos osos que veían en la bóveda celeste. Alcor, la pequeña estrella próxima a Mizar, sería el perro de caza. La Osa Mayor ocupa una posición que representa el ciclo vital del animal: se levanta en primavera al término del letargo, realiza un giro completo por el cielo y vuelve a acostarse con los primeros fríos.

Otra estrella particularmente importante es Csi *Ursae Majoris* (magnitud 3,7), la primera estrella doble en la que se descubrió la atracción gravitatoria entre las dos componentes.

OBJETOS DE LA OSA MAYOR

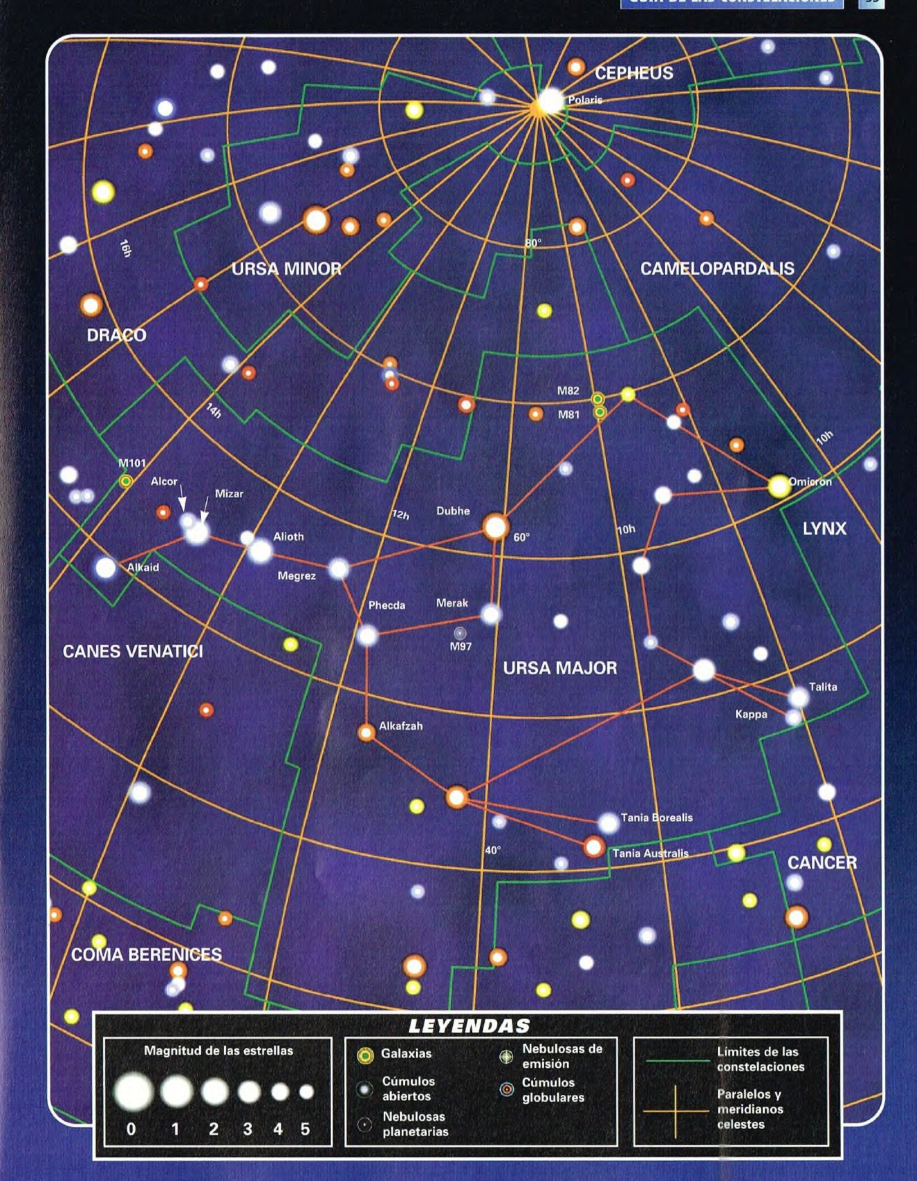
La constelación de la Osa Mayor no contiene objetos especialmente llamativos. No obstante, en el catálogo de Messier se mencionan seis de ellos: las galaxias M40, M81, M82, M101, M108 y M109.

M81 es una bella galaxia espiral, mientras que M82 es una galaxia irregular, sede de intensos cataclismos que modifican periódicamente su forma.

DÓNDE BUSCARLA

LA OSA MAYOR

La Osa Mayor abarca una región del cielo comprendida entre 73° N y 28° N de declinación, y entre 8 horas 5 minutos y 14 horas 30 minutos de ascensión recta. Es íntegramente visible todo el año desde latitudes superiores a 62° N y parte del año desde la zona situada entre 62° N y 17° S. Por debajo de 17° S, nunca es íntegramente visible. A latitudes como la de España, en primavera, la Osa Mayor está a primera hora de la noche cerca del cenit; seis meses después, en otoño, su posición es baja, próxima al horizonte. A esas latitudes, nunca desaparece totalmente por debajo del horizonte.


CEPHEUS
Polaris
URSA MINOR
CAMELOPARDALIS
DRACO
16h
80°
M82
M81
14h
10h
M101
Alcor
Mizar
Dubhe
12h
60°
10h
Omicron
LYNX
Alioth
Alkaid
Megrez
Phecda
Merak
M97
CANES VENATICI
URSA MAJOR
Talita
Kappa
Alkafzah
Tania Borealis
40°
Tania Australis
CANCER
COMA BERENICES
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Cúmulos abiertos
Nebulosas planetarias
Nebulosas de emisión
Cúmulos globulares
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LA GRAVEDAD

¿POR QUÉ CAEMOS AL SUELO?

La gravedad es una fuerza fundamental que nos sujeta firmemente al suelo y atrae los objetos hacia el suelo. Además, mantiene los cuerpos celestes, como la Luna y la Tierra, en sus respectivas órbitas.



La fuerza de la gravedad es la más débil de las fuerzas fundamentales (nuclear fuerte, electromagnética, nuclear débil y gravitacional). La gravedad es una propiedad de todos los cuerpos. Su intensidad decrece con la distancia y es proporcional a la masa: cuanto más masivo es un objeto, mayor es la fuerza con la que atrae los cuerpos próximos. La Tierra ejerce una fuerte atracción gravitacional porque está dotada de una gran masa. Atrae la manzana que cae del árbol. Pero, también la manzana atrae la Tierra hacia ella, a pesar de que la pequeña fruta tiene una masa tan insignificante que sus efectos no se dejan sentir.

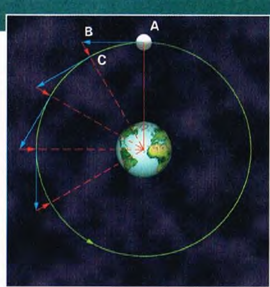
PRIMERAS TEORÍAS

Los antiguos filósofos griegos, como Aristóteles (384-322 a.C.), creían que la Tierra estaba en el centro del universo y que los objetos caían hacia abajo en busca de su «lugar natural» en el centro del planeta.

Cuando los científicos comprendieron por fin que la Tierra era un planeta en órbita alrededor del Sol, fueron necesarias nuevas teorías para explicar por qué los objetos caen y los planetas recorren órbitas elípticas. En el siglo XVII, muchos estudiosos creían que un tipo de fuerza, la gravedad, era la responsable del fenómeno. Pero la naturaleza y el comportamiento de esta fuerza eran desconocidos.

LA TEORÍA DE NEWTON

El famoso científico inglés Isaac Newton (1642-1727) comprendió que todos los cuerpos que se mueven lo hacen en línea recta y a velocidad constante, a menos que estén sometidos a una fuerza. Para que un cuerpo, como por ejemplo la Luna, se mueva a lo largo de una órbita circular es preciso que una fuerza (la gravedad) lo obligue a desviarse constantemente de su trayectoria rectilínea. La gravedad lo atraerá hacia el centro de otro cuerpo, en nuestro caso, el centro de la Tierra.



De no ser por la fuerza gravitatoria de la Tierra, la Luna se perdería por el espacio. En ausencia de fuerzas, nuestro satélite debería moverse en línea recta. Pero la gravedad terrestre la atrae constantemente hacia nuestro planeta, por lo que su órbita es curvilínea. La fuerza gravitatoria ejercida por la Tierra hace que la Luna recorra una órbita casi circular, como si estuviera sujeta al centro de nuestro planeta por una cuerda que la hace girar.

LAS MAREAS

Las mareas terrestres se deben principalmente a la acción de la Luna, aunque también el Sol influye en ellas. La fuerza gravitatoria que la Luna ejerce sobre la Tierra es mayor en la cara de nuestro planeta que mira hacia el satélite. En esta zona la Luna atrae la masa de agua oceánica hasta formar una especie de protuberancia: la marea alta.
La atracción gravitatoria es mínima en el lado opuesto de la Tierra y, como la Luna atrae el agua con una fuerza inferior a la que ejerce sobre la masa terrestre, también se forma una protuberancia. Las mareas bajas se forman en las áreas perpendiculares a estas protuberancias.
Cuando el Sol y la Luna están aproximadamente alineados, como ocurre en los períodos de luna nueva y de luna llena, sus efectos se suman dando origen a unas protuberancias todavía mayores, llamadas mareas vivas o equinocciales, que pueden ser muy peligrosas y producir aluviones.
Cuando el Sol y la Luna están en ángulo recto, sus respectivas atracciones gravitatorias tienden a neutralizarse, produciendo unos fenómenos menos acentuados, denominados mareas muertas.



Los paracaidistas que se lanzan en caída libre desde un avión experimentan una sensación de ingravidez. La gravedad los acelera hacia el suelo hasta que se abren los paracaídas.

Newton calculó la aceleración de la Luna a lo largo de su órbita y la comparó con la aceleración de un cuerpo que cae hacia la superficie de la Tierra. Basándose en que la distancia de la Tierra a la Luna es de unos 60 radios terrestres, Newton logró demostrar que la fuerza de la gravedad era inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre dos objetos. Esto significa que si la distancia entre dos cuerpos se dobla, la fuerza de la gravedad se reduce a una cuarta parte de su valor inicial.

La ley de la gravitación universal de Newton, publicada en 1687, afirma que la fuerza de atracción entre dos cuerpos cualesquiera es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al

MASA Y PESO

Hablamos a menudo de masa y peso como si fuesen lo mismo. Sin embargo, hay una notable diferencia entre ambos conceptos. La masa es la cantidad de materia que contiene un cuerpo y suele expresarse en kilogramos.
La masa del Sol, por ejemplo, es más de 330.000 veces mayor que la de la Tierra. La masa puede calcularse por medio de balanzas de platillos, que se basan en la comparación de la masa contenida en un objeto con una masa de referencia. Dado que la masa no está influida por la gravedad, su valor es siempre el mismo independientemente de donde se encuentre el objeto: en algún lugar de la Tierra, en la Luna o en un punto cualquiera del espacio.

A la izquierda, balanza de muelles que mide el peso

El peso, en cambio, depende de la gravedad y puede determinarse por medio de una balanza de muelles, que funciona sobre la base de la atracción gravitatoria. La gravedad de la Luna es aproximadamente un sexto (cerca de un 17%) de la de la Tierra. Si nos encontráramos en la Luna, nuestra masa sería la misma, pero pesaríamos seis veces menos que en la Tierra.

Abajo, balanza de platillos que mide la masa



cuadrado de la distancia entre sus respectivos centros de masas. Esta ley universal se aplica al Sol y a sus planetas, al sistema Tierra-Luna y también a la manzana que cae sobre la Tierra.

UN TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Detallados estudios sobre la posición de Urano realizados a comienzos del siglo XIX revelaron que el planeta se movía de un modo especial e insólito. Urano parecía influido por la gravedad de un cuerpo desconocido más alejado del Sol.

Basándose en la ley de la gravitación universal, el inglés John Couch Adams (1819-1892), por un lado, y el francés Urbain Le Verrier (1811-1877), por otro, emprendieron el cálculo del punto donde debía encontrarse el misterioso objeto (probablemente otro planeta). Aunque trabajaron independientemente, ambos llegaron a la misma conclusión en lo tocante a su posible posición en el cielo. El planeta, en la actualidad conocido como Neptuno, fue descubierto en 1846 por el astrónomo alemán Johann Galle (1812-1910) a un solo grado de la posición prevista. Fue un gran éxito de la ley de la gravitación universal de Newton.

CAER A LA MISMA VELOCIDAD

Newton descubrió también que todos los cuerpos experimentan la misma aceleración y que cuanto mayor es su masa, mayor es la fuerza necesaria para acelerarlos.

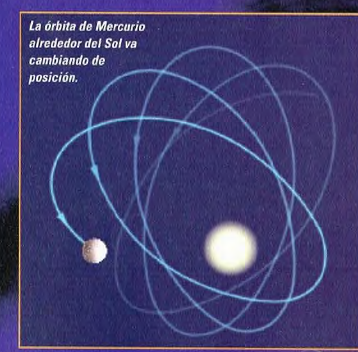
Por ejemplo, una bola de 7 kg sufre una fuerza gravitacional cien veces mayor que una pelota de tenis de 70 g. No obstante, como su masa es también cien veces mayor, la aceleración que experimenta es la misma.

LA TEORÍA DE EINSTEIN

La teoría de la gravitación de Newton no tuvo rival hasta el siglo XX, cuando el físico Albert Einstein (1879-1955) formuló un modelo mucho más elaborado. Einstein consideró que la gravedad estaba vinculada al espacio-tiempo (idea compleja, según la cual el espacio y el tiempo están relacionados entre sí y varían con la posición que el observador ocupa en el universo). La teoría de Einstein afirma que la gravedad debida a los cuerpos masivos, como por ejemplo el Sol, altera el espacio-tiempo.

El modo más simple de comprender la idea expresada por Einstein consiste en imaginar el espacio-tiempo como si se tratara de un tapete elástico. Si sobre esta superficie colocamos un objeto pesado, el tejido se deforma hacia abajo.

Si soltamos una bolita y dejamos que ruede sobre el tapete, se desviará de su trayectoria a causa del hueco creado por el objeto pesado. Esta analogía representa la teoría de Einstein sobre la curvatura del espacio-tiempo debida a la presencia de estrellas. La curvatura del espacio-tiempo obliga a la luz, cuando pasa cerca de un objeto masivo, a seguir una trayectoria curva en lugar de una línea recta.



A la izquierda, la teoría de la relatividad de Einstein ha logrado explicar el misterio de la órbita de Mercurio, el planeta más próximo al Sol. Su órbita es una elipse alargada, cuyo eje mayor gira lentamente alrededor del Sol. La teoría newtoniana de la gravitación aplicada al estudio del movimiento de los planetas conseguía explicar sólo parcialmente el fenómeno, pues subsistía una pequeña discrepancia de cerca de un grado cada 10.000 años. La teoría de la relatividad de Einstein demostró que la órbita del planeta debía cambiar exactamente en la cantidad observada.

El campo gravitacional del Sol distorsiona la «red» del espacio-tiempo, haciendo que el espacio sea curvo y no plano



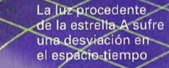
A la izquierda, un astronauta se entretiene tratando de afrontar el problema de la ingravidez a bordo de la nave espacial Atlantis. La nave está cayendo hacia la Tierra atraída por la fuerza de la gravedad, pero consigue mantenerse en órbita gracias a su movimiento hacia adelante. Dentro del Atlantis, los astronautas flotan porque, tanto ellos como la nave, están en «caída libre».



La luz llega a la Tierra procedente de la estrella situada en A, pero nosotros la vemos en A1

POR QUÉ VEMOS LAS ESTRELLAS EN UN LUGAR EQUIVOCADO

Cuando observamos las estrellas, las vemos en puntos que no corresponden a su verdadera posición. La razón del fenómeno estriba en que nosotros damos por supuesto que la luz viaja en línea recta. Lo que ocurre en realidad es que los objetos de gran masa, como por ejemplo el Sol, distorsionan el espacio-tiempo como si fueran bolas muy pesadas colocadas sobre una tela elástica. En este dibujo, el espacio-tiempo está representado por una red distorsionada por la gravedad del Sol; la curvatura del espacio-tiempo provoca la desviación de la luz procedente de una estrella A (que se muestra en el dibujo). Nosotros creemos que la luz que llega a la Tierra viaja en línea recta, por lo que pensamos que la estrella está en A1.



DATOS

GRAVEDAD EN LA SUPERFICIE

Sol: 27,9
Mercurio: 0,38
Venus: 0,89
Tierra: 1,00
Luna: 0,17
Marte: 0,38
Júpiter: 2,54
Saturno: 1,07
Urano: 0,80
Neptuno: 1,14
Plutón: 0,07

Estos datos relacionan los valores de la fuerza de gravedad de varios cuerpos del sistema solar. Para determinar cuánto pesaría un objeto fuera de la Tierra, basta multiplicar el peso del objeto considerado por el número indicado en la tabla.



¿ES VERDAD QUE LOS OBJETOS PESADOS CAEN A LA MISMA VELOCIDAD QUE LOS OBJETOS LIGEROS?

Es muy fácil comprobar que la gravedad acelera en igual medida todos los objetos. Elegid un objeto pesado, como por ejemplo un martillo, y otro más ligero, como una pelota de tenis. Sostened un objeto en cada mano. Abrid los brazos de tal modo que ambos objetos queden a la misma distancia del suelo. Con los pies fuera de la trayectoria de los objetos, dejadlos caer en el mismo instante y observad que golpean el suelo simultáneamente.

Pedidle a una persona que observe y controle el resultado; invertid luego los papeles para poder observar mejor el resultado.

Repetid luego el experimento con el martillo y otro objeto mucho más ligero, como por ejemplo, una pluma. ¿Caen ambos al mismo tiempo? Si no es así, ¿por qué? La explicación es la siguiente: la resistencia del aire, que es otra fuerza, tiene un mayor efecto sobre los cuerpos ligeros que presentan una gran superficie.

En 1971, los científicos de la NASA realizaron este experimento en un lugar carente de atmósfera y por tanto de resistencia del aire: la Luna. El astronauta David Scott dejó caer un martillo y una pluma, que llegaron al suelo en el mismo instante.



SUPERAR LAS BARRERAS

Se creía que la falta de peso era un obstáculo para los viajes espaciales, pero los experimentos han desmentido esta idea.



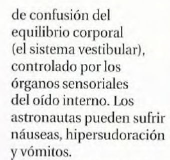
Así como la fuerza de la gravedad condiciona la vida en la Tierra, la ausencia de peso (o ingravidez) condiciona la vida en el espacio. Cuando los astronautas que se aventuran por el espacio se ponen a flotar dentro del vehículo espacial, parece que la gravedad ha desaparecido. El término correcto para describir este fenómeno es «caída libre», pero en general se habla de ingravidez.

Desde la época de los primeros vuelos espaciales, los astronautas y los científicos han llevado a cabo numerosos experimentos para estudiar los efectos del medio espacial sobre las personas, los animales y distintos materiales.

LA ADAPTACIÓN AL ESPACIO

Al comienzo de la era espacial, los estudiosos creían que la ingravidez constituiría un obstáculo para los vuelos espaciales tripulados. Afortunadamente, los hombres se han adaptado bien a la vida en el espacio, incluso durante períodos superiores a un año. En 1973-1974, tres astronautas permanecieron tres meses en órbita a bordo del Skylab; más tarde, cosmonautas soviéticos prolongaron los períodos de estancia a bordo de las estaciones espaciales Salyut. En 1994-1995, el cosmonauta Valeri Poliakov permaneció en órbita a bordo de la estación orbital rusa Mir, durante un período récord de 14 meses, sin sufrir daños físicos o psicológicos irreversibles.

No obstante, la ingravidez produce cierto efecto sobre el cuerpo humano. Dos astronautas de cada tres sufren el llamado mal del espacio durante los dos o tres primeros días de vuelo. Se trata de una forma aguda de cinetosis (trastorno causado por el movimiento de un vehículo), debida a un estado



de confusión del equilibrio corporal (el sistema vestibular), controlado por los órganos sensoriales del oído interno. Los astronautas pueden sufrir náuseas, hipersudoración y vómitos.

Además, tras un cierto período de permanencia en el espacio, empiezan a debilitarse los músculos y se observa una cierta fragilidad ósea debida a que el esqueleto deja de absorber los minerales.

LA MEDICINA DEL ESPACIO

La mayor parte de los experimentos realizados en el espacio han estudiado la capacidad de adaptación del hombre a los vuelos espaciales. Se trata de un campo de investigación conocido como medicina espacial, para el cual se han diseñado aparatos especiales.

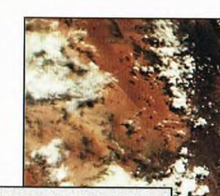
Los astronautas estudian la influencia del ambiente, en condiciones de ingravidez, sobre otros organismos, como plantas y animales (simios, arañas, ratas, ranas, etc.) llevados a bordo de vehículos espaciales.

Otro campo de investigación biomédica en pleno desarrollo es el diseño de fármacos más eficaces: se han realizado experimentos para facilitar la separación de los principios activos de las vacunas; y las pruebas en curso destinadas a mejorar la estructura de los cristales podrían desembocar en la producción artificial de fármacos naturales como la insulina.

A la izquierda, el cosmonauta Valeri Poliakov, que estableció el récord de permanencia humana en el espacio, con una estancia de 14 meses, a bordo de la nave espacial rusa Mir. Poliakov regresó a la Tierra en marzo de 1995 sin haber sufrido ningún daño físico irreversible. Durante los primeros días, muchos astronautas se ven aquejados del mal del espacio.



Arriba, para experimentar los efectos de la ingravidez sobre el cuerpo humano se controla la respiración y la circulación de los astronautas sometidos a un intenso ejercicio físico. Se extraen también muestras de sangre, de orina y de saliva para identificar eventuales cambios de composición.



DATOS

SPACELAB

Constructores: WPW-ERNO, de Bremen (Alemania), por encargo de la Agencia Espacial Europea
Primer vuelo: 28 de noviembre de 1983
Vida operativa: 10 años
Capacidad de uso: 50 veces
Forma del laboratorio: cilíndrica
Módulo corto: 4,3 x 4 m de diámetro
Módulo largo: 7 x 4 m de diámetro
Plataformas no presurizadas: 3 x 4 m
Peso máximo: 11.340 kg





A la izquierda, Arabella, una de las dos arañas que viajó por el espacio a bordo del Skylab 3, iba alojada en un contenedor especial. En la foto la vemos intentando tejer una tela en condiciones de ingravidez.

LA ERA DEL TRANSBORDADOR

Durante los primeros años de la era espacial, se investigó muy poco acerca de las condiciones de vida en ausencia de gravedad. Cuando en 1975 la NASA construyó el Skylab, fue posible realizar estudios detallados en este campo. En 1981, con la aparición de los transbordadores espaciales, los astronautas pudieron experimentar en el puente medio de estas naves, aunque el espacio disponible resultó ser todavía demasiado exiguo.

A principios de la década de los ochenta, la NASA encargó a la ESA (Agencia Espacial Europea) la construcción de un laboratorio reutilizable destinado a viajar en la bodega de un transbordador. Así nació el Spacelab.

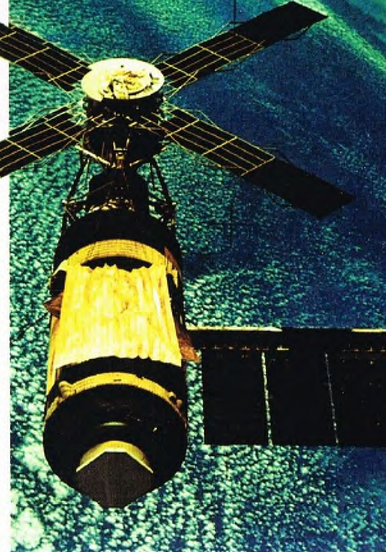
EL PROYECTO SPACELAB

El Spacelab, que realizó su primera misión, de 10 días de duración, en 1983, consiste en un laboratorio cilíndrico presurizado, provisto de plataformas expuestas al vacío espacial. La bodega del transbordador puede contener hasta cinco. Los instrumentos científicos que deben estar orientados hacia el espacio, como por ejemplo los telescopios, se montan sobre estas plataformas.

El laboratorio presurizado está dividido en dos segmentos: el primero contiene los útiles necesarios



Abajo, la foto muestra una versión del Spacelab, el Astro-2 Laboratory, a bordo del transbordador Endeavour. En marzo de 1995, el Hopkins Ultraviolet Telescope estudió espectros de estrellas y galaxias durante una misión de 17 días.





EL SKYLAB, EL PRIMER LABORATORIO ESPACIAL

El 14 de mayo de 1973, el último lanzador lunar Saturno V puso en órbita el Skylab. Construido como tercera etapa del lanzador Saturno, el Skylab fue el mayor vehículo espacial jamás realizado. El laboratorio fue habitado durante nueve meses por tres distintos grupos de astronautas, el último de los cuales permaneció en el espacio 84 días. Las tripulaciones eran transportadas al Skylab por módulos de mando Apolo que permanecían inutilizados desde la finalización del programa lunar. El Skylab, atracado al módulo Apolo, tenía una longitud de 36 m; su cuerpo principal, el laboratorio orbital, tenía un diámetro de casi 7 m y una masa de 90 t. Se realizaron 60 experimentos en cuatro campos de investigación: médico, solar, recursos de la Tierra e ingeniería de materiales.

para la supervivencia de la tripulación, los instrumentos para la elaboración de los datos y un espacio de trabajo; el segundo es un laboratorio completo. Los científicos penetran en este módulo a través de un compartimiento estanco conectado al puente medio del transbordador. A veces se emplean sólo plataformas provistas de una pequeña cúpula de control presurizada (el iglú).

UN LABORATORIO REUTILIZABLE

Normalmente, las misiones del Spacelab corren a cargo de seis tripulantes: un comandante, un piloto, dos especialistas en la misión y dos especialistas en la gestión de la carga. Terminada la misión, el viejo laboratorio se desecha y se sustituye por otro equipado para nuevos experimentos.

La NASA ha construido también un módulo más pequeño llamado Spacehab. Este laboratorio presurizado va instalado en la bodega del transbordador y está preparado para los experimentos que realiza la tripulación.

SOLUCIONES DURADERAS

Una de las propuestas para la investigación de larga duración consiste en mantener naves portadoras en órbita durante un tiempo prolongado y recuperarlas después por medio de un transbordador espacial. El LDEF (Long Duration Exposure Facility; equipo para exposiciones de larga duración) de la NASA fue el primer portador recuperable. Puesto en órbita en abril de 1984, fue recuperado en enero de 1990. El LDEF llevó a cabo 57 experimentos, entre los cuales figuraron estudios sobre: la radiación del espacio, partículas meteóricas y residuos espaciales.

El transbordador Atlantis lanzó en agosto de 1992 el EURECA (European Retrievable Carrier, portador europeo recuperable) de la ESA y lo recuperó en junio del año siguiente. A bordo de este laboratorio se llevaron a cabo más de 50 experimentos, entre los que cabe destacar los estudios sobre la radiación solar y la cristalización de muestras biológicas.

LA INVESTIGACIÓN GLOBAL

La investigación espacial ha dejado de ser una prerrogativa de las agencias espaciales, los gobiernos y la gran industria. Actualmente, incluso las pequeñas sociedades y las universidades pueden participar en el programa Getaway Special (GAS), patrocinado por la NASA. Por unos miles de dólares, los investigadores pueden enviar al espacio equipos experimentales alojados en contenedores que se disponen a lo largo del perímetro de la bodega o se colocan sobre una pasarela.

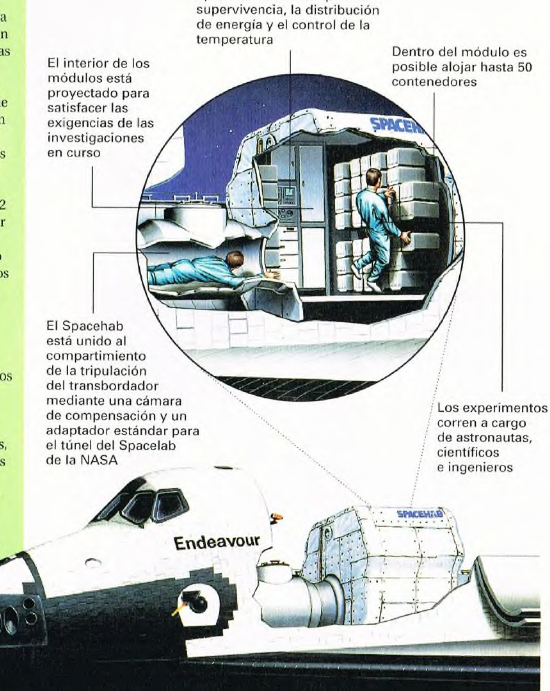
El primer GAS voló en 1982 en el Columbia durante la tercera misión de este transbordador; desde entonces se han efectuado más de 100 misiones de este tipo. La Universidad estatal de Utah ha investigado la influencia de la ingravidez sobre la reproducción del mosquito de la fruta. La Universidad alemana de Bremen ha lanzado un microsatélite.



El satélite Long Duration Exposure Facility (LDEF) durante su puesta en órbita por el transbordador Challenger. La nave permaneció en el espacio más de cinco años, de 1984 a 1990, estudiando los efectos de la exposición a las condiciones espaciales sobre varios sistemas electrónicos. Contenía además 50 aparatos para experimentos.

EL SPACEHAB

El Spacehab aumenta en unos 28 m³ el espacio disponible en los transbordadores espaciales. Los experimentos, que antes se realizaban en el puente medio del transbordador, se llevan a cabo ahora dentro de estos cilindros metálicos presurizados, instalados en la bodega del transbordador.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

NUESTRO PLANETA

ESTRELLAS Y GALAXIAS

NUESTRA POSICIÓN EN EL UNIVERSO

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

ORIÓN

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

EL TRANSBORDADOR ESPACIAL

EL USO DEL ESPACIO

LOS MAPAS TERRESTRES

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

3





PLANETA DeAGOSTINI

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Abril 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

PLANETA DeAGOSTINI

NUESTRO PLANETA

La Tierra es un minúsculo punto en la inmensidad del universo, que se formó a partir de una esfera de gas hace unos 4.500 millones de años, y el único planeta conocido que alberga vida.

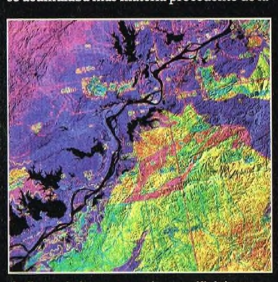


La Tierra se formó junto con el Sol, los otros ocho planetas mayores del sistema solar y miríadas de asteroides, meteoritos y cometas, a partir de una inmensa nube de gas y polvo estelar llamada nebulosa solar.

En el centro de esta nube que se contraía se formó el Sol, que, al calentarse, empezó a emitir luz, mientras en su interior empezaban a producirse las reacciones nucleares que todavía hoy lo hacen brillar. La elevada temperatura solar produjo la evaporación al espacio de buena parte de los materiales volátiles que se hallaban en la región donde se estaba formando la Tierra; en cambio, en las zonas más exteriores y frías del sistema solar, estas materias se condensaron y formaron los planetas gigantes gaseosos.

EL NACIMIENTO DE LA TIERRA

Debido a la fuerza de la gravedad, cada vez se acumulaba más materia procedente de la



Arriba, en la imagen en colores artificiales que muestra la provincia de Anhui, en China, se pueden observar las complejas estructuras de la superficie terrestre. La línea oscura del centro es el río Yangzi Jiang.

nebulosa solar sobre la Tierra en formación. Pero como ésta se encontraba en estado de fusión, debido a su elevada temperatura, los componentes más densos, como el hierro y el níquel, se hundían cada vez más hacia el centro del planeta, mientras que los más ligeros, como los silicatos de varios metales, permanecían en la superficie. Este proceso recibe el nombre de diferenciación. Es importante destacar que toda la materia de la que están constituidos la Tierra y los otros planetas se había formado en el interior de estrellas que explosionaron y dejaron en el espacio todos sus componentes.

Terminada la diferenciación, la temperatura de la Tierra fue disminuyendo hasta llegar a valores que permitieron su solidificación. Además, en la superficie de nuestro planeta pudo permanecer agua en estado líquido. Actualmente se supone que la temperatura del núcleo de la Tierra es de unos 6.200 °C. Su enfriamiento está relacionado tanto con la desintegración radiactiva de algunos elementos como con el aislamiento térmico producido por el manto que lo recubre. Dado que se está produciendo un proceso gradual de agotamiento de los elementos radiactivos, la parte interna de la Tierra continúa enfriándose.

DATOS

LA TIERRA

Distancias mínima y máxima al Sol: 147 y 152 millones de km
Diámetro en el ecuador: 12.756 km
Velocidad orbital media alrededor del Sol: 29,79 km/s
Rotación (tiempo empleado para completar una rotación entera sobre su propio eje): 23 horas y 56 minutos
Revolución (tiempo empleado para recorrer una órbita alrededor del Sol): 365 días, 6 horas y 9 minutos
Número conocido de satélites: 1 (la Luna)
Masa: 5,976 x 10^{24} kg
Volumen: 1,084 x 10^{12} km^3
Densidad media (agua = 1): 5,52
Temperatura media en la superficie: 22 °C
Temperatura del núcleo: 6.200 °C

Inclinación del eje: 23° 27′



LA HISTORIA DE LA TIERRA

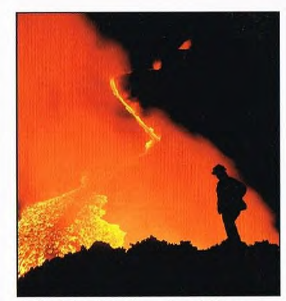
La Tierra, como todos los cuerpos del sistema solar, tuvo su origen en los restos de estrellas que explosionaron. Nuestro planeta ha tardado millones de años para evolucionar desde una esfera de gases hasta un planeta dotado de una corteza rocosa sólida.

La Tierra empezó a condensarse a partir de los gases y el polvo de la nebulosa solar hace unos 4.500 millones de años. Los gases y el polvo fueron colisionando a causa de la fuerza de la gravedad, formando cuerpos cada vez más grandes.

Las colisiones y la presión se originaron en el interior del planeta por la compresión debida a la acumulación de materia, lo cual generaba calor. En el interior del planeta, los elementos se separaron. Hace unos 4.000 millones de años, la temperatura de la Tierra ascendía a 2.000 °C. El planeta era una mezcla de diferentes elementos: los mismos que hay ahora en la Tierra.

Cuando la corteza en solidificación se fracturaba, surgían lava, gases y vapor de agua ocluidos en el manto. Empezó a formarse una atmósfera primitiva. El vapor de agua se elevaba a cotas más altas, donde, al enfriarse, se condensaba y se precipitaba al suelo en forma de lluvia, que se evaporaba de nuevo apenas entraba en contacto con la superficie extremadamente caliente. Gradualmente, la corteza también empezó a enfriarse, permitiendo así que el agua fuese reabsorbida. Después de algunos millones de años, la corteza ya no pudo absorber más agua y se inició la formación de los mares.

La temperatura alcanzó el punto de fusión del hierro, que se hundió hasta el centro del planeta en rotación, formando el núcleo. Este núcleo se divide en dos partes: el núcleo interno, formado por hierro sólido, y el núcleo externo, que contiene hierro y níquel en estado líquido. Al mismo tiempo, hace unos 3.500 millones de años, los elementos más ligeros, compuestos de silicio, cristales y metales ligeros, subieron a la superficie. Así se formaron el manto, constituido por elementos más pesados, y la corteza, dividida en capas de materiales más ligeros.



Arriba, la lava fluye de una boca del Etna, en Sicilia, durante una erupción. Los volcanes son la prueba de la turbulenta actividad que hay bajo la superficie de la Tierra.

En el sistema solar, la Tierra es el tercer planeta en orden de distancias al Sol, del que se encuentra a unos 149,6 millones de kilómetros. Pero la órbita de la Tierra no es perfectamente circular, sino que es similar a una elipse achatada. Por esto, la distancia varía entre 147 millones de km cuando la Tierra está más próxima al Sol (principios de enero) y 152 millones de km cuando está más alejada (seis meses después).

DEL NÚCLEO A LA CORTEZA

El núcleo de la Tierra, constituido por elementos pesados (níquel y hierro), puede dividirse en dos partes: un núcleo interno de materiales metálicos sólidos de unos 1.300 km de radio, rodeado de una parte exterior líquida de un espesor de 2.200 km. En dirección hacia el exterior, se encuentra el manto rocoso, de un espesor de 3.000 km, que, a su vez, está dividido en dos partes: una zona inferior más rígida (manto inferior) y otra superior más plástica (manto superior). Los últimos 100 km del manto reciben el nombre de litosfera, sobre la cual hay una fina capa de roca de un espesor que varía de 5 km en el fondo oceánico hasta 50 km o poco más en tierra firme.

La litosfera está constituida por una serie de placas o losas, similares a las piezas de un enorme rompecabezas y grandes como un continente. Estas placas están en continuo movimiento, empujadas por las corrientes de convección que agitan las rocas semifundidas que tienen debajo. Este lento movimiento, siempre en acción, constituye básicamente el fenómeno conocido como tectónica de placas.

ERUPCIONES VOLCÁNICAS

La colisión de las placas puede generar un aumento de presión entre ellas y una

EL MOVIMIENTO DE LOS CONTINENTES



Pre-Pangea: hace centenares de millones de años, las tierras emergidas estaban divididas en continentes diferentes de los actuales.



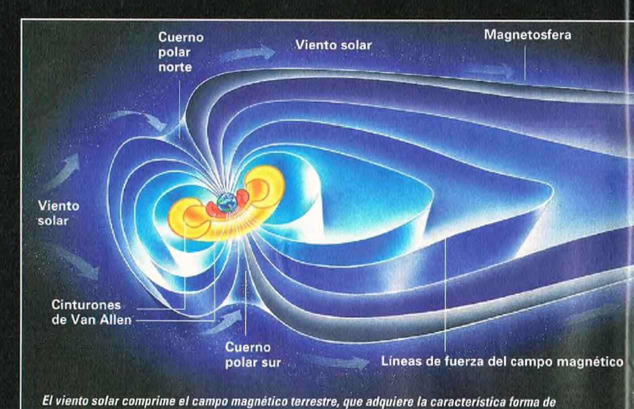
Hace 300 millones de años: los continentes se unieron en un supercontinente, la Pangea, que más tarde empezó a fragmentarse.



Hace 135 millones de años: las placas de la corteza hacían que los continentes se separasen cada vez más.



Hoy: las placas continúan moviéndose lentamente. Estos movimientos causan terremotos y erupciones volcánicas.



El viento solar comprime el campo magnético terrestre, que adquiere la característica forma de medusa de la magnetosfera. Algunas partículas quedan atrapadas en su interior y forman dos fajas de partículas cargadas eléctricamente: los cinturones de Van Allen.

acumulación de energía que se libera en forma de terremotos a lo largo de sus bordes. Estudiando estas catástrofes naturales, en particular la propagación de las ondas sísmicas, los científicos llegan a comprender la estructura interna de la Tierra.

Cuando dos placas se alejan, se forma una fractura a través de la cual aflora el magma procedente del manto que, al solidificarse, produce nueva corteza. A lo largo de los bordes de dos placas que se encuentran, pueden producirse dos fenómenos diferentes. Si las dos placas tienen la misma densidad (placas continentales), se forma una región más gruesa: es el origen de las cordilleras de montañas, como el Himalaya. En cambio, cuando se encuentran dos placas de densidad diferente (por ejemplo, una oceánica y una continental), la primera, más densa, se hunde bajo la otra, se funde y origina una cadena volcánica, por afloración del magma producido en la fusión de la placa oceánica: es el caso de los Andes o del archipiélago indonesio.

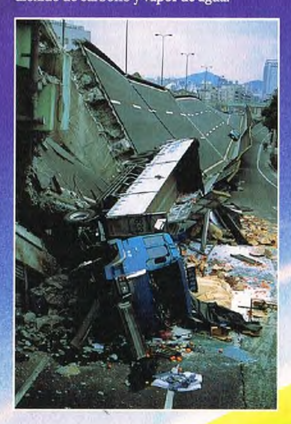
EL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

El campo magnético terrestre deriva de unas corrientes que se originan en el núcleo metálico fundido, a causa de la rotación de la Tierra sobre sí misma, de manera análoga a lo que sucede en una dinamo. El campo magnético de la Tierra se extiende a una enorme distancia, formando en el espacio una especie de capa conocida como magnetosfera. La magnetosfera protege a la Tierra contra el flujo de partículas cargadas eléctricamente, procedentes del Sol, llamado viento solar. El análisis de antiguas rocas extraídas de los fondos oceánicos ha mostrado que el polo norte y el polo sur del campo magnético terrestre se han intercambiado en el pasado a intervalos regulares de unos 100.000 años, pero nadie sabe con precisión si estas inversiones de los polos magnéticos se produjeron de manera rápida o gradual en el transcurso de los años.

LA ATMÓSFERA HA CAMBIADO

La atmósfera de la Tierra, es decir, la capa de gases que envuelve nuestro planeta, contenía originalmente una pequeñísima cantidad de oxígeno, insuficiente para permitir la rica variedad de vida animal que hay actualmente. La atmósfera estaba constituida por una mezcla de gases, como hidrógeno, amoníaco y metano, asociados a dióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua. En el transcurso del tiempo, buena parte de los componentes de esta atmósfera se han dispersado en el espacio, y han sido sustituidos por gases procedentes del interior de la Tierra, como dióxido de azufre y, posteriormente, cierta cantidad de dióxido de carbono y vapor de agua.

A la derecha, la colisión de dos placas origina en la superficie una serie de fenómenos sísmicos (terremotos) a lo largo de los bordes de las placas. El 16 de enero de 1905, un terremoto de 7,2 grados de la escala Richter azotó Kobe, en Japón, provocando espantosas devastaciones.



ENCIMA Y DEBAJO DE LA CORTEZA TERRESTRE

La atmósfera terrestre está formada por muchas capas que no aparecen netamente separadas entre sí. El aire que respiramos y los fenómenos meteorológicos tienen su sede en la capa inmediatamente superior a la superficie terrestre, llamada troposfera. Las capas de la atmósfera se extienden hasta una altura de unos 600 km, donde empieza la exosfera, el límite con el espacio exterior. La corteza y la litosfera se dividen en placas que se mueven lentamente, arrastradas por las corrientes convectivas que hay en el manto.

NUESTRA ATMÓSFERA

En la actualidad, nuestra atmósfera está compuesta principalmente de dos tipos de gases: el nitrógeno, inerte, y el oxígeno, fundamental para la vida. Este último es el resultado de la fotosíntesis efectuada por las plantas.

Nitrógeno 77%
Otros gases 1%
Vapor de agua 1%
Oxígeno 21%

Telescopio espacial Hubble
600 km
EXOSFERA
IONOSFERA hasta 500 km
Estación espacial Mir
400 km
Transbordador espacial
300 km
TERMOSFERA hasta 200 km
Auroras
Meteoros
MESOSFERA hasta 85 km
Nubes de brillo nocturno
ESTRATOSFERA hasta 50 km
Capa de ozono
Globo meteorológico
TROPOSFERA hasta 15 km
Avión a reacción
Las placas se separan bajo los océanos y se forma una nueva corteza
Una placa se hunde debajo de otra, provocando erupciones volcánicas
Los volcanes sumergidos forman nuevas islas
Corteza
Las corrientes convectivas del interior del manto superior provocan la separación de las placas de la corteza.
Corteza
Litosfera

LA ALTERNANCIA DE LAS ESTACIONES

Las estaciones se alternan debido a la inclinación de 23° 27′ del eje de rotación terrestre, que hace que la Tierra quede expuesta de manera diferente al Sol en los diversos períodos del año.
En el hemisferio norte (boreal) y en el sur (austral), el verano y el invierno se manifiestan en épocas exactamente opuestas del año. Cuando un hemisferio, el norte o el sur, queda frente al Sol, es verano; el punto culminante del Sol en el cielo es más alto y permanece por encima del horizonte mayor tiempo, lo que implica días más calurosos, más largos y noches más cortas.
Cuando un hemisferio, el norte o el sur, no está frente al Sol, es invierno, y los efectos son opuestos a los descritos anteriormente.
Los fenómenos estacionales se manifiestan de manera distinta según la latitud en que nos encontremos.



MÁS ALLÁ DE LAS NUBES

La atmósfera, que es atraída hacia la Tierra por la fuerza de la gravedad, puede dividirse en capas a partir de la superficie terrestre. La capa inferior, donde se encuentran las nubes y suceden todos los fenómenos meteorológicos, conocida como troposfera, se extiende hasta 10-15 km de altitud. Conforme se va ascendiendo por la troposfera, la temperatura disminuye hasta alcanzar los –40 o –50 °C.

Por encima de ella, hasta una altura de unos 50 km, se encuentra la estratosfera, que tiene una capa de ozono, un gas formado por un tipo particular de molécula de oxígeno compuesta de tres átomos en lugar de dos. El ozono, como absorbe las peligrosas radiaciones ultravioletas procedentes del Sol, ayuda a proteger la vida sobre la Tierra. La temperatura en la parte superior de la estratosfera aumenta hasta 15 °C, porque el ozono es calentado por la radiación solar.

Por encima de la estratosfera, hasta una altura de 500 km, se extiende la ionosfera, que refleja las ondas de radio procedentes de la Tierra. En la ionosfera se encuentran también las nubes de brillo nocturno, que se forman cuando el vapor de agua que hay en la parte alta de la atmósfera se condensa en cristales sobre el polvo meteórico que cae sobre la Tierra desde el espacio.

Arriba, la imagen del canal de Panamá, en América Central, muestra cómo el hombre puede alterar la superficie de la Tierra. En la fotografía puede verse la ciudad de Panamá, los territorios cultivados que la rodean y la carretera panamericana.

A la derecha, la cordillera de los Andes es uno de los grandes fenómenos naturales de la Tierra, que se extiende a lo largo de toda Sudamérica. Los frecuentes terremotos han destruido, al menos una vez, casi todas las ciudades que surgen a lo largo de esta dorsal.

A su vez, la ionosfera comprende la mesosfera (entre 50 y 85 km de altura) y la termosfera (hasta 200 km). La primera es más caliente en la parte baja y su temperatura disminuye con la altura hasta los –90 °C de la parte superior.

Por encima de la ionosfera está la exosfera, que se funde con el vacío del espacio interplanetario.

LA VIDA SOBRE LA TIERRA

Dos tercios de la superficie de la Tierra están cubiertos de agua y, en este medio, lo mismo que en los continentes y en una pequeña parte de la atmósfera que los cubre, hay muchas formas de vida. El origen de la vida sobre la Tierra, que depende de manera determinante del agua en estado líquido, es un tema muy debatido al que todavía no se ha encontrado una explicación definitiva.

Muchos científicos están de acuerdo en suponer que las condiciones ambientales terrestres primitivas produjeron violentas tormentas eléctricas que desencadenaron reacciones químicas entre los gases presentes en la atmósfera. Los productos resultantes de estas reacciones, entre los que había sencillas moléculas orgánicas, como los aminoácidos, punto de partida de las formas de vida primitivas, se depositaron en los océanos, donde posteriormente se produjeron otras reacciones químicas. Al final de esta fase, de más de mil millones de años de duración, empezaron a desarrollarse las células primitivas.

Las células vegetales primitivas utilizaban dióxido de carbono para sintetizar las moléculas orgánicas de las que se nutrían, como lo hacen hoy las plantas. Este proceso, conocido como fotosíntesis, tuvo una importancia fundamental, porque empezó a producirse oxígeno como subproducto. En el transcurso de miles de millones de años, este oxígeno se ha ido acumulando cada vez más en la atmósfera hasta cambiar su composición. Esto permitió la evolución de formas de vida animal que necesitan oxígeno para respirar.

A continuación, en el transcurso de los millones de años sucesivos, la evolución ha conducido a la gran variedad de seres vivientes que hay actualmente en la Tierra.

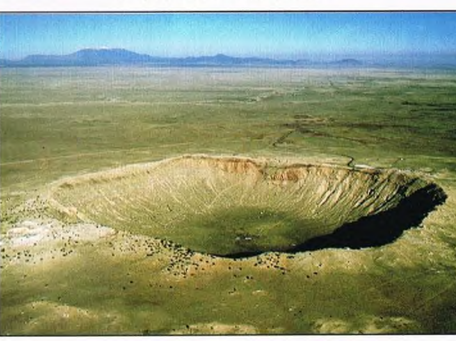
La Tierra es el único planeta conocido que alberga vida, pero es muy probable que existan otros planetas orbitando alrededor de estrellas pertenecientes a nuestra Galaxia o a otras galaxias esparcidas por el universo, y también es posible que en algunos de estos planetas exista vida.

¿UN FRAGMENTO DEL ESPACIO?

La Tierra tiene un solo satélite natural: la Luna. Las hipótesis sobre el origen de la Luna son muy controvertidas: tal vez se formó en un punto cualquiera del sistema solar y luego fue capturada por el campo gravitatorio de la Tierra, o tal vez es el resultado de una colisión entre la Tierra, todavía primitiva, y otro objeto más pequeño similar a un planeta.



La Luna es el único satélite de la Tierra y está cubierto de cráteres, producidos por el impacto de meteoritos, que se mantienen inalterados por la ausencia de agua y atmósfera.



A la derecha, la imagen muestra un cráter que se formó por el impacto de un meteorito, en Arizona. En la Tierra, estos cráteres desaparecen a causa de la erosión atmosférica y la actividad volcánica.

NUESTRA POSICIÓN EN EL UNIVERSO

El progreso de los estudios y de los instrumentos para observar el espacio profundo permiten determinar con precisión nuestra posición en el universo.



Hoy en día, los astrónomos pueden calcular las distancias de los cuerpos que pertenecen al sistema solar con un error inferior a un par de kilómetros. Para lograrlo, se envían señales radar a la superficie del planeta que se examina, las cuales rebotan y vuelven hacia la Tierra: midiendo el tiempo transcurrido entre la ida y la vuelta de estas señales, se puede calcular la distancia al planeta considerado.

LOS AÑOS LUZ

Sin embargo, el sistema solar sólo es una parte pequeña del universo. Para darse cuenta de esto, basta considerar que la estrella más cercana al Sol, *Proxima Centauri*, dista de nosotros unos 40,3 billones de km. Para medir estas distancias tan grandes, los astrónomos utilizan una unidad de medida más cómoda: el año luz (a.l.). Un año luz es la distancia recorrida por la luz en un año y, como la luz viaja a una velocidad constante de unos 300.000 km/s, equivale a unos 9,46 billones de km. En consecuencia, por ejemplo, *Proxima Centauri*, dista de nosotros 4,26 años luz.

NUESTRA GALAXIA

Nuestra Galaxia es un conjunto de estrellas que tiene una forma similar a la de un disco aplanado, más grueso en el centro, del que parten varios brazos en forma de espiral, que se extienden hasta un diámetro de cerca de 100.000 años luz. En uno de estos brazos, llamado brazo de Orión, se encuentra el Sol, a una distancia de 30.000 años luz del núcleo de la Galaxia.

Desde la Tierra no es posible observar el centro de la Galaxia con los telescopios normales, debido a la enorme cantidad de gases y polvo que se interponen. Sólo pueden identificarlo los radiotelescopios y los telescopios de infrarrojos. Desde nuestro planeta, el disco de la Galaxia aparece como una banda luminosa en el cielo nocturno, conocida como Vía Láctea.

El Sol, con sus nueve planetas, la Tierra incluida, pertenece al sistema solar

Tierra

El sistema solar se encuentra hacia el borde de la Galaxia, en el brazo de Orión

Brazo de Orión

EL MAPA DEL UNIVERSO

La Tierra es un punto minúsculo en el espacio. Pertenece a un sistema planetario que orbita alrededor de una estrella, el Sol, de características muy normales, que se encuentra en el interior de una típica galaxia espiral. A su vez, nuestra Galaxia forma, junto con unas 30 galaxias más, el Grupo Local, situado en un remoto rincón del universo en expansión.

Las galaxias que forman parte del Grupo Local son sólo algunas de los miles de millones de galaxias que hay en el universo

Galaxia de Andrómeda

Nuestra Galaxia pertenece a un grupo de unas 30 galaxias que constituyen un cúmulo llamado Grupo Local. La galaxia de Andrómeda es la principal de este grupo

Las dimensiones del universo pueden comprenderse con más facilidad si se considera el tiempo que emplea la luz para llegar a la Tierra a la velocidad aproximada de 300.000 km/s. Para que la luz del Sol llegue a la Tierra son necesarios unos 8,3 minutos. La luz que proviene del otro extremo de nuestra Galaxia tarda 80.000 años para llegar a la Tierra; la luz de la galaxia de Andrómeda tarda 2,2 millones de años.

DATOS

DISTANCIAS DE LA TIERRA

Luna: 1,3 segundos luz
Sol: 8,3 minutos luz
Plutón: 5,3 horas luz
***Proxima Centauri*:** 4,26 años luz
Centro de la Galaxia: 30.000 años luz
Galaxia de Andrómeda: 2,2 millones años luz
Cúmulo de galaxias de Virgo: 50 millones de años luz
Cúmulo de galaxias de la Hidra: 1.500 millones de años luz
Límite del universo visible: 15.000 millones de años luz

LAS OTRAS GALAXIAS

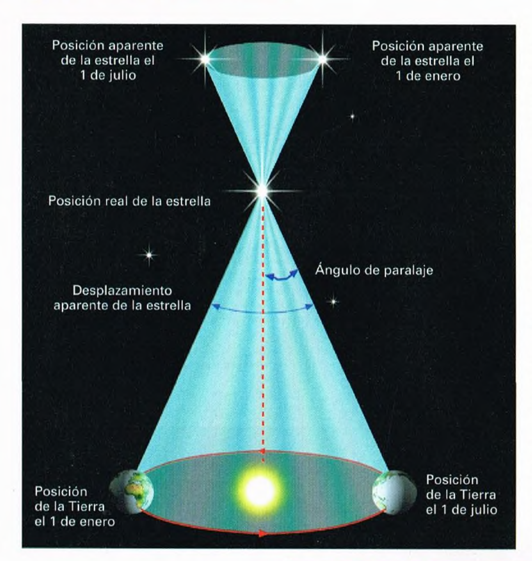
En el universo hay miles de millones de galaxias y muchas están agrupadas en cúmulos. Nuestra Galaxia, junto con la de Andrómeda (M31), la del Triángulo (M33) y las dos Nubes de Magallanes, pertenece a un grupo de unas 30 galaxias, conocido como Grupo Local.

¿A QUÉ DISTANCIA ESTÁN LAS ESTRELLAS?

Todas las estrellas visibles a simple vista en el cielo nocturno pertenecen a nuestra Galaxia. Para medir la distancia a las estrellas más cercanas, se utiliza un método llamado de la paralaje, que se basa en dos observaciones sucesivas de la estrella, efectuadas con un intervalo de seis meses. En ese período, la Tierra recorre la mitad de su órbita alrededor del Sol, lo que permite observar la estrella en cuestión desde dos ángulos diferentes. Respecto al fondo de estrellas más lejanas, parece que dicha estrella esté desplazada un cierto ángulo medible. Conociendo además el radio de la órbita terrestre es posible calcular la distancia a la estrella.

LA LUMINOSIDAD REAL

La luminosidad de una estrella es un parámetro importante, que permite a los astrónomos calcular las distancias a las estrellas y, por lo tanto, determinar su posición exacta en el universo. Como la luminosidad de una estrella disminuye con el aumento de la distancia al observador, las estrellas más alejadas de la Tierra aparecen menos brillantes. En efecto, el Sol no es una estrella particularmente luminosa, pero parece muy brillante debido a que se encuentra próxima a nosotros.



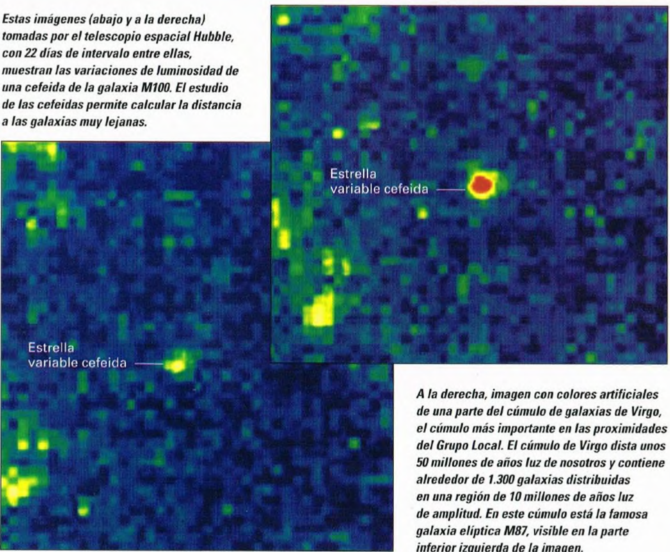
A la izquierda, el método de la paralaje con el que se calculan las distancias a las estrellas cercanas. El astro se observa dos veces con un intervalo de seis meses. Como después de este intervalo la Tierra se ha trasladado al extremo opuesto de su órbita, la estrella aparece desplazada. La mitad de este desplazamiento se llama paralaje; cuanto más grande es, más cerca está la estrella.

Para comparar la luminosidad real de las estrellas, los astrónomos deben determinar en primer lugar su distancia a la Tierra utilizando el método de la paralaje. A continuación, se evalúa su luminosidad, suponiendo que están todas situadas en el espacio a la misma distancia estándar de 10 parsecs (1 parsec = 3,26 años luz). La luminosidad de una estrella a esa distancia se llama magnitud absoluta.

LAS CEFEIDAS

La luminosidad de algunas estrellas, llamadas variables, no es siempre constante, sino que cambia con el tiempo. En 1912, la astrónoma norteamericana Henrietta Leavitt descubrió que, en un tipo particular de estrellas variables llamadas cefeidas, existía una relación entre la luminosidad y el período, es decir, el tiempo que emplea la estrella para completar su ciclo de pulsación. Las cefeidas muy luminosas presentan períodos de muchos días, mientras que las menos luminosas los tienen de pocas horas. Esta relación se denomina «ley período-luminosidad». Si se registra el ciclo de variación de luminosidad de una cefeida, es posible medir su período. Gracias a la ley período-

Estas imágenes (abajo y a la derecha) tomadas por el telescopio espacial Hubble, con 22 días de intervalo entre ellas, muestran las variaciones de luminosidad de una cefeida de la galaxia M100. El estudio de las cefeidas permite calcular la distancia a las galaxias muy lejanas.





A la derecha, imagen con colores artificiales de una parte del cúmulo de galaxias de Virgo, el cúmulo más importante en las proximidades del Grupo Local. El cúmulo de Virgo dista unos 50 millones de años luz de nosotros y contiene alrededor de 1.300 galaxias distribuidas en una región de 10 millones de años luz de amplitud. En este cúmulo está la famosa galaxia elíptica M87, visible en la parte inferior izquierda de la imagen.

luminosidad, es posible efectuar una comparación entre sus luminosidades aparente y absoluta, y, en consecuencia, calcular la distancia a la que se haya.

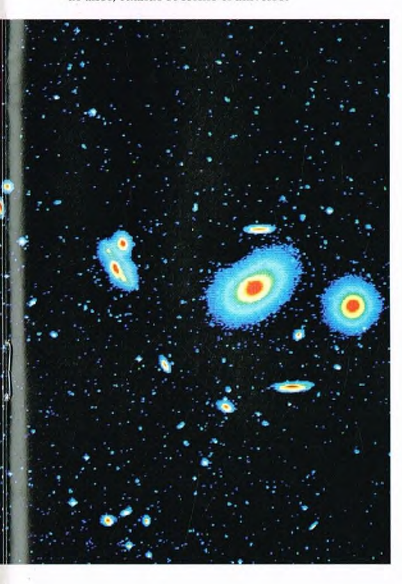
LAS GALAXIAS LEJANAS

Más allá del Grupo Local, el grupo de galaxias al que pertenece la nuestra, hay cúmulos de galaxias más lejanos. Gracias al estudio de las cefeidas, es posible medir las distancias de las galaxias situadas a distancias de hasta 20 millones de años luz. Para distancias superiores, se utiliza otro método basado en el importante concepto del desplazamiento hacia el rojo (véase el recuadro de la derecha).

El universo está lleno de cúmulos de galaxias. El cúmulo de Virgo, a pesar de estar a una distancia de 50 millones de años luz, es uno de los más cercanos a nosotros, sobre todo si se compara con el cúmulo de la Hidra, cuya luz ha tardado 1.500 millones de años en llegar a la Tierra, lo que significa que ahora lo vemos tal como era hace 1.500 millones de años.

EL LÍMITE DEL UNIVERSO

Avanzando hacia las profundidades del universo, encontramos galaxias que se alejan de nosotros a velocidades cada vez mayores. Si pudiésemos ver una galaxia alejándose a una velocidad casi igual a la de la luz, señalaría el límite del universo observable, a la distancia de unos 15.000 millones de años luz de la Tierra. Además, esta galaxia no la veríamos en su estado actual, sino tal como era hace 15.000 millones de años, cuando se formó el universo.



LA UNIDAD ASTRONÓMICA

Se ha calculado que la distancia media entre la Tierra y el Sol es de 149.597.870 km. Esta cifra se ha adoptado como unidad de medida de las distancias y se conoce como unidad astronómica o UA. Con ella, los astrónomos expresan las distancias entre los objetos del sistema solar. Mercurio, el planeta más cercano al Sol, se encuentra a una distancia media de este último de 0,4 UA. Plutón, el planeta con la órbita más alejada del Sol, dista de nuestra estrella una media de 40 UA.

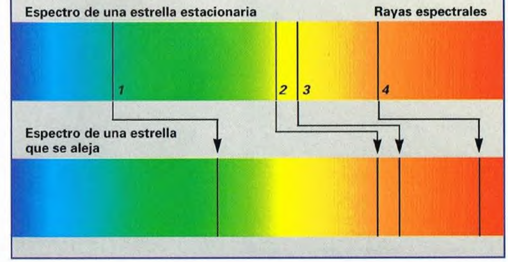


Arriba, la sirena de una ambulancia se percibe con un sonido más agudo cuando el vehículo se acerca; en cambio, cuando la ambulancia se aleja, el sonido parece de una tonalidad más grave.

DESPLAZAMIENTO HACIA EL ROJO

Las ondas luminosas y las sonoras presentan una importante analogía. Cuando son emitidas por una fuente en movimiento con respecto al observador, éste tiene la impresión de que cambia su longitud de onda. Si la fuente se acerca, parecen más cortas y, si se aleja, más largas: este fenómeno se llama efecto Doppler. Un ejemplo es la sirena de una ambulancia, que, cuando se acerca, parece tener un tono más alto (las ondas más cortas corresponden a notas más agudas), mientras que cuando se aleja, parece tener un tono más bajo (las ondas más largas corresponden a notas más graves). Lo mismo sucede con la luz emitida por las estrellas: cuando se alejan, su luz parece aumentar de longitud de onda, es decir, que se desplaza hacia el extremo rojo del espectro de la luz visible. Por esto se habla de desplazamiento hacia el rojo.

Abajo, el espectro de una estrella muestra cómo emite luz de varias longitudes de onda. En el espectro, es posible identificar los elementos químicos presentes en la estrella, porque cada uno de ellos se manifiesta con una o más rayas oscuras, situadas en las longitudes de onda características del elemento. Si la estrella observada se aleja, las rayas de los elementos se desplazan hacia el rojo, en una magnitud proporcional a la velocidad de alejamiento de la estrella.



ORIÓN

Orión, el gigante de la mitología griega, castigado por la diosa Diana por su talento de cazador, da nombre a una constelación muy conocida, en la que está situada la gran nebulosa homónima.



Orión es una constelación invernal muy conocida, que representa a un cazador mitológico. La constelación de Orión contiene algunas de las regiones en las que es más intensa la actividad estelar, centrada en su mayor parte en la gran nebulosa, ya conocida en la Antigüedad. Esta nebulosa forma parte de uno de los brazos espirales de nuestra Galaxia, el Brazo de Orión, el más cercano al sistema solar.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

La constelación de Orión puede identificarse a partir de las tres estrellas del Cinturón que, a pesar de no ser muy luminosas, atraen la atención del observador por su disposición en línea recta casi perfecta: son las Tres Marías de la tradición popular. Están situadas en el centro de un cuadrilátero de estrellas más luminosas, que representan los hombros y las rodillas del gigante.



DÓNDE BUSCARLA

ORIÓN

Orión abarca una región del cielo comprendida entre 23° N y 11° S de declinación, y entre 4 horas 40 minutos y 6 horas 20 minutos de ascensión recta. Es íntegramente visible parte del año desde las regiones situadas entre 79° N y 67° S. Nunca es íntegramente visible por encima de 79° N ni por debajo de 67° S. Al cabalgar sobre ambos hemisferios celestes, no es íntegramente visible todo el año desde ningún punto de la Tierra. Para observadores situados en latitudes como la de España, cuando la constelación es visible en dirección sur, se encuentra aproximadamente a medio camino entre el cenit y el horizonte.

LAS ESTRELLAS PRINCIPALES

Betelgeuse o Alfa, el hombro oriental del gigante, es una estrella de color anaranjado. Se trata de una estrella gigante roja variable, de una magnitud que oscila entre 0,4 y 1,3 en poco más de cinco años. A pesar de que se le ha asignado la primera letra del alfabeto griego, es menos luminosa que Rigel o Beta (magnitud 0,1), la rodilla occidental, que aparece de un color blanco azulado por su mayor temperatura superficial.

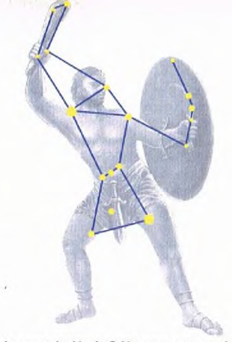
Las tres estrellas del Cinturón, astros jóvenes y extremadamente calientes, son, en dirección de oriente a occidente: Alnitak o Zeta (magnitud 1,8), Alnilam o Epsilon (magnitud 1,7) y Mintaka o Delta (magnitud 2,2).

LA ESPADA DEL GIGANTE

Otras estrellas interesantes se encuentran en la llamada Espada, un grupo de pequeñas estrellas situadas debajo del Cinturón: Theta es una estrella múltiple, formada por un grupo de cuatro estrellas, más conocido con el nombre de Trapecio. Están inmersas en la nebulosa de la que son originarias y contribuyen a hacerla luminosa por fluorescencia, debido a la gran cantidad de rayos ultravioleta emitidos por su superficie extremadamente caliente.



La nebulosa Cabeza de Caballo en la constelación de Orión no es visible a simple vista.



La constelación de Orión representa un gigante mitológico que blande una maza, haciendo frente al toro de la vecina constelación zodiacal.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

ORIÓN

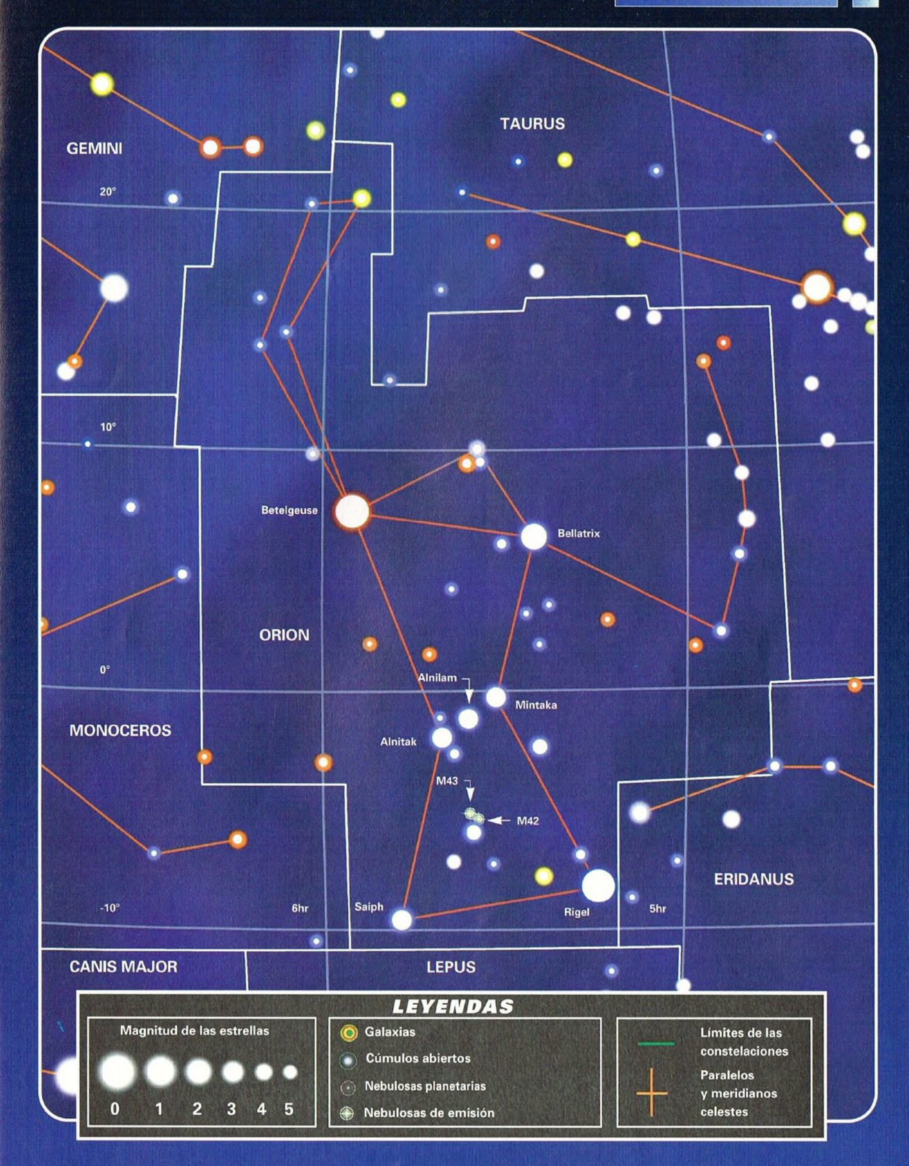
Orión era el hijo del dios del mar, Poseidón, y tenía como rasgos característicos la fogosidad amorosa y una gran habilidad para la caza. Una vez asedió a las siete hijas de Atlante, las Pléyades, las cuales, para huir de sus incesantes atenciones, pidieron a los dioses que las convirtieran en estrellas, y fueron complacidas. Pero Orión también había suscitado la ira de Diana al vanagloriarse de que podía cazar cualquier animal; por esto, la diosa lo envió contra un escorpión, que le dio muerte. Los dioses, movidos por la compasión, transformaron al cazador y al escorpión en constelaciones.

LA GRAN NEBULOSA

El objeto principal de la constelación es la gran nebulosa de Orión, formada por M42 y M43. Es visible a simple vista en las noches nítidas y sin Luna, si se observa desde lugares alejados de las grandes ciudades. Es una gigantesca nube de hidrógeno que el flujo de rayos ultravioleta, procedente de las estrellas que contiene, ioniza y hace luminiscente. Si se observa con unos prismáticos, aparece como una copa invertida, mientras que, al telescopio, muestra un juego de claroscuros.

Las dimensiones de la nebulosa son notables (su diámetro es de casi 30 años luz). El Hubble ha descubierto en ella numerosas estrellas en fase de formación, rodeadas de discos de materia oscura, en los que podrían desarrollarse sistemas planetarios.

Además, Orión contiene otro objeto del catálogo Messier: la nebulosa M78, menos visible que la famosa gran nebulosa.



GEMINI
TAURUS
20°
10°
0°
-10°
Betelgeuse
Bellatrix
ORION
Alnilam
Mintaka
Alnitak
MONOCEROS
M43
M42
ERIDANUS
6hr
Saiph
Rigel
5hr
CANIS MAJOR
LEPUS
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Cúmulos abiertos
Nebulosas planetarias
Nebulosas de emisión
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

EL TRANSBORDADOR ESPACIAL

El transbordador espacial (Space Shuttle) estadounidense, un cruce de cohete, vehículo espacial y avión, es el aparato volador más sensacional del mundo. A diferencia de los vehículos espaciales precedentes, es reutilizable y puede enviarse al espacio muchas veces.

Pocos segundos después de las 7.00 de la mañana, hora local, del 12 de abril de 1981, un vehículo espacial futurista, de nombre Columbia, despegó de la plataforma de lanzamiento del Centro Espacial Kennedy de Florida. Tras elevarse y desaparecer en el profundo azul del cielo, abandonó los dos cohetes propulsores y poco después el depósito de combustible. A menos de once minutos del despegue, el transbordador entró silenciosamente en órbita. Después de tres días de vuelo, el Columbia aterrizó en la base Edwards Air Force de California. El único problema que sufrió fue el desprendimiento de algunas losetas del revestimiento térmico.



Arriba, el prototipo del transbordador espacial, Enterprise. La fotografía muestra el momento en que se está separando de un reactor Boeing 747, en el transcurso del primer vuelo libre en agosto de 1977.

Antes del despegue (a la derecha), el transbordador espacial se ensambla con el tanque exterior y los cohetes propulsores, sobre una plataforma de lanzamiento móvil, que luego se transporta hasta la plataforma del Centro Espacial Kennedy.

UN VEHÍCULO ESPACIAL REUTILIZABLE

Exactamente siete meses más tarde, el Columbia estaba preparado en la plataforma de lanzamiento para entrar de nuevo en órbita; se trataba del primer vehículo espacial de la historia que era reutilizado.

En 1982, el Columbia efectuó otras tres misiones, inaugurando así una era de la exploración espacial: la de los transbordadores espaciales.

Hoy, una flota de vehículos espaciales idénticos al Columbia va y viene regularmente entre la Tierra y el espacio. Estos transbordadores colocan en órbita sondas y satélites, destinados a la exploración de planetas lejanos; también transportan laboratorios espaciales, en cuyo interior astronautas, científicos e ingenieros efectúan todo tipo de experimentos biomédicos, científicos y técnicos, en ausencia de gravedad y en condiciones totalmente irreproducibles en los laboratorios terrestres. En los próximos años, estos vehículos se utilizarán para poner en órbita los módulos espaciales que, ensamblados en vuelo, constituirán la estación espacial internacional Alpha.

LOS ORÍGENES DEL TRANSBORDADOR

Los orígenes del transbordador se remontan a 1970, en los tiempos de las misiones Apolo, cuando los astronautas eran enviados al espacio a bordo de enormes cohetes. Estos vehículos de lanzamiento sólo podían utilizarse una vez, lo que implicaba un

El transbordador espacial se envía al espacio con una potencia equivalente a la de 140 reactores Jumbo Jet. Los motores principales y los cohetes propulsores se encienden al mismo tiempo para enviar el transbordador fuera de la atmósfera. Un astronauta ha descrito así el despegue: «Parece que estés en una hoguera.»



Dos minutos después del despegue, los dos cohetes de propulsión se desprenden y descienden al mar frenados con paracaídas; después se recuperarán para ser utilizados de nuevo.



enorme derroche de materiales muy costosos. Esto hizo que la NASA emprendiese el estudio de un proyecto de vehículo reutilizable.

El medio que se propuso era un híbrido constituido por dos vehículos: un enorme propulsor y una especie de avión, dotado de alas y motores a chorro (orbitador), capaz de orbitar la Tierra y destinado a transportar la tripulación y la carga útil. El propulsor debía llevar el vehículo orbitador a una cota elevada, a través de las capas más densas de la atmósfera; una vez alcanzada la altura deseada, el orbitador se separaría y utilizaría sus propios motores para ponerse en órbita. El propulsor volvería directamente a la base, seguido del vehículo de transporte.

UN NUEVO PROYECTO

En seguida se hizo evidente que este sistema de dos vehículos reutilizables resultaría demasiado caro, por lo que la idea de un propulsor pilotado fue sustituida por la de cohetes propulsores de combustible sólido (*boosters*) no pilotados. El vehículo orbitador se volvió a proyectar para reducir sus dimensiones, separando el tanque para el combustible. Así nació el sistema actual, que consta de un orbitador con alas delta, un tanque exterior y dos cohetes propulsores. El único componente del conjunto que no se reutiliza es el tanque.

En 1977 ya se había construido un prototipo de orbitador, el transbordador Enterprise, que no presentó ningún problema durante las pruebas experimentales de vuelo planeado.

El primer vehículo operativo, el Columbia, debería haber realizado el primer vuelo en 1979, pero se retrasó debido a algunos problemas en los motores principales y en las losetas del escudo térmico. El Columbia se lanzó el 12 de abril de 1981 y fue el primer transbordador espacial.

COMPONENTES

La denominación oficial de transbordador espacial es National Space Transportation System, o sea, sistema nacional de transporte espacial, lo que explica el hecho de que las misiones se hayan identificado con la sigla STS. La base del transbordador, situada junto al Centro Espacial Kennedy de Florida, es el Complejo 39, una gigantesca estructura construida para las misiones Apolo a la Luna y modificada en los años setenta.

Los componentes principales del transbordador (el vehículo orbitador, el tanque exterior y los dos cohetes propulsores de combustible sólido, o SBR) se ensamblan para formar el gigantesco VAB (Vehicle Assembly Building), que se instala verticalmente sobre una plataforma de lanzamiento móvil. El vehículo orbitador va enganchado al tanque exterior, que está fijado a los dos cohetes propulsores de combustible sólido situados a sus lados. La plataforma de lanzamiento y el conjunto transbordador-cohetes-tanque se transportan hasta una de las dos rampas de lanzamiento.

DATOS

EL TRANSBORDADOR ESPACIAL (SPACE SHUTTLE)

VEHÍCULO ORBITAL
Longitud: 37,2 m
Envergadura: 23,8 m
Altura: 14,1 m
Peso: 90 t
Bodega de carga: longitud: 18,3 m; anchura: 4,6 m

COHETE PROPULSOR DE COMBUSTIBLE SÓLIDO (SRB)
Longitud: 45,5 m
Diámetro: 3,7 m
Peso: 570 t (en el despegue)
Empuje: 1.500.000 kg (en el despegue)

TANQUE EXTERIOR
Longitud: 47 m
Diámetro: 8,4 m
Peso: 756 t (con plena carga)
Capacidad:
Hidrógeno líquido: 1.450.000 l
Oxígeno: 541.500 l

Una vez vacío, el enorme tanque exterior para el carburante se desprende y se precipita hacia la superficie de la Tierra, apenas ocho minutos después del lanzamiento del transbordador. Este tanque alimenta los motores principales, que queman 300.000 l de carburante por minuto. Es el único componente no reutilizable.

A la derecha, el Discovery en órbita alrededor de la Tierra. Las puertas de la bodega abiertas dejan ver los enormes paneles radiantes y el brazo manipulador blanco.

DESPEGUE VERTICAL

Segundos antes del lanzamiento, se encienden los tres motores principales, luego se produce el encendido de los dos cohetes propulsores y la liberación de los anclajes que fijan el conjunto al suelo.

Con los motores en marcha, que proporcionan un empuje combinado de más de 3.000 t, el conjunto se eleva de la rampa de lanzamiento, adquiere velocidad y, en dos minutos, alcanza una altura de 50 km. Una vez agotado su combustible, los cohetes propulsores se separan y descienden a la superficie de la Tierra frenados con paracaídas; luego se recuperarán.

Mientras tanto, los motores continúan funcionando y consumiendo cada minuto unos 300.000 l de hidrógeno y oxígeno, y proporcionan su empuje durante otros seis minutos y medio, hasta que el tanque exterior queda vacío. Después, el tanque también se suelta del transbordador y se precipita a través de la atmósfera para ir a caer en pleno océano. En este momento, el transbordador queda situado en el espacio.

Después de un planeo de dos minutos, los dos motores del sistema de maniobra orbital se encienden durante unos breves momentos para acelerar el transbordador hasta una velocidad de unos 28.000 km/h. Entonces, el transbordador entra en órbita, a una altura aproximada de 275 km.

LAS ACTIVIDADES EN ÓRBITA

La primera tarea de la tripulación del transbordador es abrir los portalones de la bodega de carga. Esta operación permite desplegar los paneles radiantes instalados en el interior de los portalones, para disipar el calor acumulado en su interior durante el lanzamiento.

Entonces empieza la fase operativa de la misión: la reparación y recuperación de satélites, como el telescopio espacial Hubble. Estas sofisticadas operaciones pueden incluir el empleo de la grúa del transbordador, un brazo automático de múltiples articulaciones utilizado como sistema de manipulación a distancia. En algunas misiones, el transbordador lleva a bordo el laboratorio espacial Spacelab, un centro de investigación, en cuyo interior se llevan a cabo una amplia gama de experimentos científicos.

EL RETORNO A LA TIERRA

Al final de la misión se cierran los portalones de la bodega de carga y se maniobra para que el transbordador presente la popa en dirección del vuelo de reentrada. Los motores del sistema de maniobra orbital se encienden de nuevo, esta vez para frenar el transbordador durante su descenso.

Unos 45 minutos más tarde, mientras viaja a una velocidad de 25 veces la del sonido, el vehículo orbitador vuelve a entrar en la atmósfera; el rozamiento con las moléculas de aire frena al transbordador, pero también genera una elevada cantidad de calor, y algunos puntos de la superficie exterior alcanzan temperaturas superiores a 1.500 °C. Para poder resistir este calor, el transbordador está revestido de varios tipos de materiales aislantes que actúan como escudo térmico. El morro y los bordes de las alas están recubiertos de un aislamiento a base de carbono, mientras que la mayor parte del resto del fuselaje está protegida con losetas de sílice. Durante la reentrada en la atmósfera, estas losetas se ponen incandescentes, pero impiden que el calor llegue a la estructura de aluminio.

En 1984, Bruce McCandless efectuó el primer paseo espacial sin cable de unión con el transbordador, utilizando la Manned Manoeuvring Unit (MMU).

INTERRUPCIÓN DE LA RADIO

En la fase de mayor frenado y sobrecalentamiento, las comunicaciones por radio entre los astronautas y el centro de control en tierra quedan interrumpidas. Cuando el transbordador recupera la



A la derecha, los astronautas efectúan las reparaciones de los satélites en el interior de la bodega de carga del transbordador. Por razones de seguridad, introducen los pies en alojamientos especiales y se aseguran con un cable desenrollable, dispuesto a lo largo del borde de la bodega de carga.

Arriba, el Endeavour despliega un paracaídas de frenado, en el momento del aterrizaje, en la pista del Centro Espacial Kennedy.

comunicación por radio, utiliza las alas por primera vez para descender en vuelo planeado y efectuar una serie de virajes y balanceos para frenarlo antes de afrontar el aterrizaje sobre la pista del Centro Espacial Kennedy, que se hace a unos 350 km/h.

Después del desembarco de la tripulación, el transbordador se remolca hasta una planta de mantenimiento situada junto al VAB, donde se retiran la cargas del transbordador, como el Spacelab.

LA FLOTA DE TRANSBORDADORES

Originalmente, la flota de transbordadores tenía que estar constituida por cuatro vehículos. El Columbia, denominado OV-102, fue el primer vehículo orbitador operativo que inauguró el programa en abril de 1981. Como los otros vehículos operativos, recibió un nombre propio, que en este caso fue el de un histórico velero norteamericano. El Columbia efectuó las primeras cinco misiones de la historia de los transbordadores espaciales, antes de que fuera operativo el siguiente transbordador.

Este segundo transbordador, el OV-99, bautizado con el nombre de Challenger, efectuó el primer vuelo el 4 de abril de 1983 como vehículo experimental antes de convertirse en operativo. El siguiente fue el Discovery (OV-103), lanzado el 30 de agosto de 1984, al que siguió el Atlantis (OV-104), el 3 de octubre de 1985.

La flota operativa constaba pues de cuatro transbordadores, con lo que se había concretado la posibilidad de ejecutar misiones con una frecuencia de 15 días. Sin embargo, en enero de 1986, al despegar para su décima misión, el Challenger explosionó en el cielo de Florida, provocando la muerte de los siete miembros de la tripulación.

UN PERÍODO DE INACTIVIDAD

El presidente Reagan nombró una comisión para investigar las causas del accidente. Después de los estudios realizados, se efectuaron modificaciones tanto en la propia cabina del transbordador como en los procedimientos operativos, para tratar de evitar la repetición de un accidente análogo. En consecuencia, no se volvió a efectuar ninguna misión con transbordadores hasta septiembre de 1988, cuando el Discovery se encaminó una vez más hacia el cielo. Se emprendió la construcción de un nuevo transbordador de sustitución, llamado Endeavour, que fue lanzado el 7 de mayo de 1992 para una misión en la que tres astronautas «pasearían» por el espacio para reparar el satélite Intelsat 6.

EL DESASTRE DEL CHALLENGER

El 28 de enero de 1986 fue una de las fechas más tristes de la historia espacial. Ante los ojos de un numeroso público que había acudido al Centro Espacial Kennedy de Cabo Cañaveral, en Florida, sobrevino un espantoso accidente. El transbordador Challenger, que se preparaba para efectuar la misión 51-L, explosionó poco después de un minuto del despegue. Los siete miembros de la tripulación murieron en el acto. Eran los primeros astronautas que morían en vuelo durante una misión espacial.

El Challenger se había elevado desde la plataforma de lanzamiento con un despegue aparentemente perfecto, pero un penacho de llamas, a la vista de millones de personas, empezó a salir de una guarnición de goma sintética situada en el cohete propulsor (SRB) de la derecha. Las llamas actuaron como una llama oxhídrica sobre el soporte que mantenía fijado el cohete al tanque exterior, lleno de combustible.

Después de 72 segundos de vuelo, el soporte se rompió y el cohete de aceleración se inclinó e impactó contra el tanque: en los pocos segundos siguientes, centenares de miles de litros de combustible explosivo se vertieron al exterior, transformándose en una gigantesca bola de fuego.

La tripulación no tuvo ninguna posibilidad de salvarse: el comandante Richard Scobes, el piloto Michael Smith, los especialistas de la misión, Judith Resnick, Ellison Onizuca y Ronald McNair, así como los adjuntos para la manipulación de la carga, Gregory Jarvis y Christa McAuliffe, perecieron en la terrible explosión. Christa McAuliffe (una maestra) hubiera sido el primer civil en ir al espacio.

El primer astronauta norteamericano que estuvo en el espacio, John Glenn, comentó: «Sabíamos que podía llegar un día como éste, porque trabajamos con velocidades, potencias y sistemas complejos que nunca habíamos experimentado anteriormente».



Los siete miembros de la tripulación se ponen en marcha para embarcar a bordo del Challenger. El lanzamiento, el vigésimo quinto en menos de cinco años, debería haber sido normal para una misión de rutina.

Apenas 72 segundos después del lanzamiento, el transbordador espacial explosionó (abajo) en una enorme bola de fuego, desintegrándose en infinitos fragmentos dispersados en el mar, a lo largo de las costas de Florida.



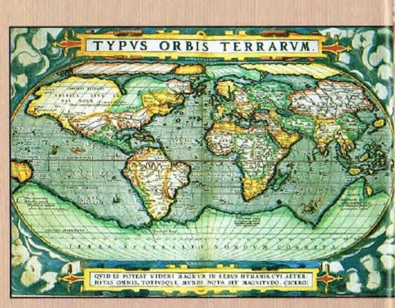
LOS MAPAS TERRESTRES

La cartografía por satélite permite a los científicos y a los geógrafos detectar los cambios de la superficie de la Tierra de manera económica, precisa y tridimensional.



En el pasado, los topógrafos y geómetras recorrían, a menudo a pie, tramos de la superficie terrestre para dibujar la mayor parte de los mapas. Estos cartógrafos anotaban la presencia de carreteras, edificios y puntos de referencia, y efectuaban repetidas correcciones a medida que encontraban variaciones. Las cartas náuticas eran competencia de navegantes y exploradores. En cartografía, se dio un gran paso adelante con la introducción de la fotografía aérea. Sin embargo, en los últimos años, la moderna tecnología espacial ha revolucionado todo el sector. En efecto, los satélites pueden registrar los detalles más ínfimos, incluso los diversos tipos de cultivos agrícolas y los vertidos de desechos industriales.

A la derecha, un antiguo mapa de la Tierra, en el que ésta aparece «aplanada» para mostrar los continentes. Estos mapas geográficos eran esquemáticos e imprecisos.



Una imagen tridimensional de la zona que rodea Albertville, Alpes franceses, tomada por un satélite. Dos imágenes tomadas por el SPOT durante diferentes pasadas efectuadas en julio de 1988, se han combinado y asociado a un modelo en relieve de la zona. La adición de colores naturales demuestra la notable precisión de las imágenes de satélite.

UNA MEJOR PERSPECTIVA

Cuando el astronauta Gordon Cooper, durante su vuelo en una cápsula Mercury en mayo de 1963, refería que podía ver carreteras, palacios e incluso el humo de las chimeneas de la Tierra, el personal del centro de control en tierra lo acusó de sufrir alucinaciones. Sin embargo, las sucesivas misiones espaciales demostraron la veracidad de sus observaciones. Los campos de cereales eran identificables en las imágenes registradas por el Apolo 6, mientras que las fotografías tomadas por el Apolo 9 mostraban la nieve sobre una cadena montañosa de Arizona y los daños provocados por una perturbación a lo largo del río Ouachitra en Luisiana.

Por esta razón se desarrollaron nuevas técnicas para identificar incluso las mínimas variaciones de las emisiones en el campo de la luz visible o de las radiaciones infrarrojas procedentes del suelo.

LA DETECCIÓN A DISTANCIA

Los sensores de espectro múltiple, actualmente utilizados en todos los satélites, se basan en el principio según el cual las características del terreno pueden identificarse mediante la energía que emiten o la que reflejan procedente del Sol. Por ejemplo, las características espectrales de la vegetación son diferentes de las que producen las rocas, el suelo o el agua. Equipos de detección a bordo de los satélites registran estas diferencias y las convierten en imágenes de colores artificiales.

Los primeros satélites que emplearon esta tecnología fueron los Landsat desarrollados para la NASA por General Electric. Originalmente descrito como el primer «ojo en el cielo» que ha tenido el mundo, el Landsat es una serie de cinco satélites,

el primero de los cuales fue lanzado el 23 de julio de 1972. Los satélites Landsat disponen de instrumentos capaces de analizar el espectro de la luz con el fin de rastrear la Tierra, que utilizan siete longitudes de onda diferentes. Después, con ayuda de ordenadores, estas diversas longitudes de onda se combinan para cartografiar los bosques, las contaminaciones y la biología marina, o para ayudar a los urbanistas.

UN PROBLEMA DE ESCALA

La mayoría de mapas geográficos que se emplean normalmente son de una escala grande: de 1:50.000 (2 cm en el mapa equivalen a 1 km sobre el terreno) y de 1:250.000 (1 cm representa 2,5 km). Sin embargo, la mayor parte de nuestro planeta todavía no se ha cartografiado con precisión a estas escalas, y mucho menos a escala reducida. Un estudio de la ONU ha calculado que sólo el 44% de la Tierra está cubierto por estos mapas. Las imágenes Landsat del territorio de Estados Unidos han proporcionado informaciones actualizadas y datos del desarrollo más reciente.

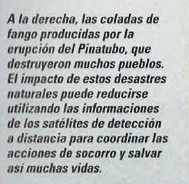
EMPLEO DE LOS SATÉLITES CARTOGRÁFICOS

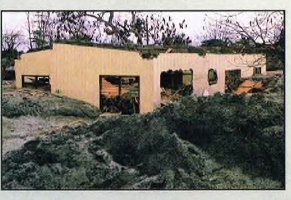
Los fenómenos naturales que se producen sobre la Tierra pueden ser detectados gracias a las imágenes de satélite, que se destinan a usos diversos.

- **Geología y ciencias de la Tierra:** se traza un mapa del campo gravitatorio terrestre combinando siete millones de observaciones altimétricas, efectuadas por el satélite ERS-1.
- **Meteorología:** es posible cartografiar la cubierta nubosa, la velocidad de los vientos y la temperatura de la superficie terrestre para elaborar mapas meteorológicos.
- **Catástrofes naturales:** las zonas devastadas por catástrofes naturales son identificadas por los satélites, lo que permite organizar planes de actuación eficaces.
- **Oceanografía:** se puede cartografiar la profundidad de las aguas costeras y localizar bancos de arena móviles. Satélites como el Topex-Poseidon y los ERS-1 y 2, cartografían las temperaturas y los hielos marinos, la altura de las olas y las corrientes oceánicas.



Arriba, imagen tomada por un satélite, tratada con colores artificiales, de una columna de cenizas emitida por el volcán Pinatubo, en Filipinas, antes de la erupción de junio de 1991. El comportamiento de los volcanes puede estudiarse desde el espacio, lo que permite a los científicos vigilar las erupciones con mayor precisión.





A la derecha, las coladas de fango producidas por la erupción del Pinatubo, que destruyeron muchos pueblos. El impacto de estos desastres naturales puede reducirse utilizando las informaciones de los satélites de detección a distancia para coordinar las acciones de socorro y salvar así muchas vidas.

EL SPOT

Los primeros satélites Landsat, modelos 1, 2 y 3, sólo podían identificar objetos de dimensiones superiores a 80 m, lo que significaba que no era posible detectar edificios por separado, pero se podían localizar carreteras, ciudades y cultivos agrícolas. Los cartógrafos tuvieron que esperar hasta 1982 para que fuera lanzado un instrumento con una resolución de 30 m, el Temathic Mapper, o TM (trazador de mapas temático), instalado a bordo del Landsat 4. Este instrumento proporcionaba imágenes a una escala aproximada de 1:60.000 (1 cm representa 600 m). En 1986, se lanzó el primer satélite de la serie SPOT (Satellite Probatoire d'Observation de la Terre), con una resolución de 10 m, que corresponde a un mapa a escala de 1:20.000 (1 cm equivale a 200 m).

ACTUALIZACIÓN CONTINUA

Los satélites Landsat y SPOT han permitido emplear un método nuevo, rápido y económico para cartografiar la superficie de la Tierra. Ofrecen numerosas ventajas a los modernos cartógrafos,

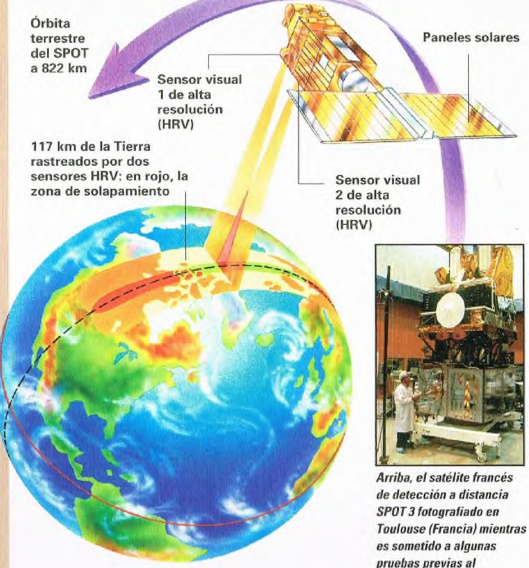
porque, en pocas semanas, pueden tomar imágenes de todo el planeta en órbitas casi polares (unas órbitas que llevan a los satélites sobre los polos Norte y Sur, dentro de una franja de 2°). Los satélites meteorológicos, como el Meteosat, y los de radar, como el ERS-2, aportan otras informaciones. Hay un flujo continuo de datos que pueden emplearse para trazar nuevos mapas y actualizar los existentes.

A diferencia de los mapas tradicionales, sobre papel, los modernos son digitales: pueden conservarse gran número de ellos, sobre soportes magnéticos, y actualizarse rápida y fácilmente.

CORRECCIÓN DE LOS ERRORES

Antes de poder ser utilizadas con fines cartográficos, las informaciones de los satélites deben correlacionarse con un sistema de referencia terrestre. Se trata de un sistema de procesamiento electrónico que compensa los errores producidos por los movimientos de la Tierra y del satélite. También el hecho de que la superficie de la Tierra sea curva y, en cambio, los mapas geográficos se reproduzcan en un plano crea no pocos problemas, que pueden superarse introduciendo los datos en una red de proyección. Este procedimiento matemático permite corregir las relaciones entre algunos puntos de referencia sobre la superficie de la Tierra y evitar la distorsión. Existen 22 tipos de proyección utilizables, según las necesidades de los operadores.

Uno de los métodos más importantes para trazar mapas geográficos es el Geographical Information System (GIS), que permite superponer muchos mapas en diferentes capas: los datos de la detección a distancia son muchas veces una de estas capas.



Arriba, el satélite francés de detección a distancia SPOT 3 fotografiado en Toulouse (Francia) mientras es sometido a algunas pruebas previas al lanzamiento.

UN OJO FRANCÉS EN EL CIELO

El SPOT 3, el último de una serie de satélites franceses para la detección a distancia, fue lanzado el 25 de septiembre de 1993. Está equipado con dos sensores visuales de alta resolución (HRV), cada uno de ellos capaz de barrer una franja de la superficie terrestre de 60 a 80 km de anchura de este a oeste. Cuando los dos instrumentos funcionan conjuntamente, sus campos visuales se superponen 3 km, con lo que la anchura total de una pasada es de 117 km. El satélite sobrevuela la misma zona cada 26 días.



Una imagen del satélite Landsat muestra la conjunción de los ríos Iguazú (a la derecha) y Paraná (a la izquierda). Las cataratas que se forman en este punto señalan también las fronteras de tres países: Brasil, Argentina y Paraguay.

DATOS

SPOT 3

Órbita: síncrona respecto al Sol (las condiciones de iluminación son las mismas para todas las tomas en la misma latitud y en un determinado período); casi polar, con una inclinación de 98°
Período orbital: 101 minutos
Altura: 822 km
Masa del vehículo espacial: 1.907 kg
Dimensiones del cuerpo: 1,9 x 1,9 x 3,5 m
Anchura de los paneles solares: 8,1 m
Instrumentos principales: dos sensores visuales de alta resolución (HRV)



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

LAS BRUMAS DEL TIEMPO

ESTRELLAS Y GALAXIAS

EL NACIMIENTO DE UNA ESTRELLA

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

LA ESFERA CELESTE

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

EL USO DEL ESPACIO

TRANSMISIONES EN DIRECTO



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

4



PLANETA DeAGOSTINI

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 66, 68-69, 74-75a, 76a, 80a; NASA: 61a, 63, 70-71a der., 72; Royal Geographical Society: 67; Tony Hallas: 69a; Royal Observatory/Edinburgh: 68b, 71c; John Sandford: 71a der.; Science Photo Library: 77a izd., a der.; Jean-Loup Charmet: 74; Hugh Roland: 78b der., 79a der.; Tom Connell: 78a der.; Rex Features: 78b izd., 80b; Inmarsat plc: 79a izd.; Galaxy Picture Library: tecera de cubierta.
Dibujos: Galaxy Picture Library: 73c, 78-79b; DI.DO.t: 73a; Mick Ashpool: 61, 65; Spectrum: 62b, 63c, 66, 67; David Hardy: 76-77b, 77b der.

PLANETA DeAGOSTINI

LAS BRUMAS DEL TIEMPO

La formación del sistema solar duró cientos de millones de años y fue debida a enormes fuerzas gravitacionales y violentas colisiones. Así se originaron los planetas, que muestran huellas evidentes de este turbulento pasado.

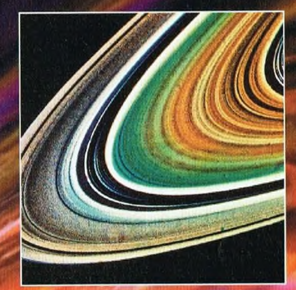


Los nueve planetas del sistema solar son muy distintos por su tamaño y composición química. Muchos presentan «cicatrices» causadas por el impacto de meteoritos y erupciones volcánicas; algunos tienen satélites, otros poseen anillos y algunos otros exhiben ambas características. Los fenómenos que han llevado a la creación de estos cuerpos celestes tan distintos constituyen el objeto de estudio de la astronomía planetaria, un capítulo fascinante y variado de la investigación astronómica.

Los planetas nacieron de la nebulosa solar, una enorme nube de gas y polvo cohesionada por la atracción gravitatoria, en cuyo centro dominaba un Sol lleno de energía. La exacta sucesión de los hechos acaecidos hace miles de millones de años todavía no se conoce del todo porque no se dispone de pruebas directas al respecto.

EL SOL SE ENCENDIÓ

Los astrónomos creen que la primera fase de la formación de la nebulosa solar estuvo



A la derecha, imagen de colores artificiales que pone de manifiesto la diferencia de composición de los anillos de Saturno, debidos probablemente a la desintegración de un satélite primitivo del planeta, a causa del choque con un meteorito.

EL SOL RESPLANDECE

Miles de millones de años después de que una supernova vecina aglomerara polvo y partículas gaseosas para formar la nebulosa solar, la presión debida a las fuerzas gravitacionales de este disco en contracción hizo que el protosol empezara a arder.



Estadio 1 (arriba): las partículas primordiales empiezan a formarse a partir del disco en rotación que rodea al protosol. Los materiales presentes en las distintas regiones forman los «ingredientes» básicos de cada planeta.

LOS PLANETAS TERRESTRES

Los planetas terrestres, de naturaleza rocosa, se formaron en las regiones más próximas al Sol. El intenso calor procedente de nuestro astro y la acción del viento solar han hecho que estos planetas sean más sólidos que los del sistema solar exterior. Los dibujos muestran tres fases del proceso de formación planetaria.



Estadio 2 (a la izquierda): los gránulos de materia (planetésimos) se van aglomerando y forman los asteroides que todavía hoy orbitan en torno al sistema solar. Los planetésimos chocan entre sí y van aumentando de tamaño en un proceso continuo de acreción.

Estadio 3 (arriba): cuando los planetésimos han alcanzado un cierto tamaño, su gravedad interna es lo bastante elevada para dotarles de una forma esférica. Estos planetas primitivos se encuentran todavía en estado de fusión, pero a medida que los metales más pesados, como el níquel y el hierro, van penetrando hacia el interior, empieza a formarse un núcleo sólido mientras que, al mismo tiempo, los silicatos migran hacia el exterior para formar la corteza.



A la izquierda, imagen de la superficie de Marte tal como aparece hoy, tras millones de años de evolución. La mayor parte de esta superficie aparece árida y recubierta de un polvo rojizo. Algunas de las masas que la constelan son parecidas a los asteroides que todavía orbitan en torno al Sol y que en otro tiempo constituyeron los planetésimos del sistema solar en formación.



caracterizada por una sutil nube de gas y polvo, la cual, bajo la acción de un suceso exterior, tal vez la explosión de una supernova vecina, empezó a desplomarse sobre sí misma.

Cuando se hubo formado un cúmulo de materiales más densos, la gravedad aceleró el proceso de colapso, favorecido por una lenta rotación inicial que dio a la nebulosa una forma discoidal, con el protosol en el centro. La temperatura del centro de la nebulosa empezó a aumentar a causa del rozamiento hasta alcanzar valores elevadísimos, tras lo cual se desencadenaron los procesos nucleares necesarios para la actividad solar.

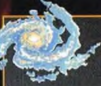
UNA DOBLE HIPÓTESIS

En 1755, el filósofo alemán Emmanuel Kant (1724-1804) sugirió que los planetas habían nacido por condensación de un disco de materia que giraba alrededor del Sol, formado en el centro de una nube de gas y polvo. Más tarde, en 1796, el astrónomo francés Pierre Laplace (1749-1827) supuso que el Sol, mientras se estaba contrayendo, emitió una serie de anillos gaseosos que, por condensación, dieron origen a los planetas. Estos anillos, a su vez, se convirtieron en nebulosas en rotación que empezaron a formar sus propias familias de satélites. La hipótesis que hoy en día goza de mayor aceptación es una combinación de ambas teorías.

Arriba, la superficie de Mercurio muestra las «cicatrices» causadas por impactos de meteoritos. Estos cráteres se formaron hace 4.000 millones de años, cuando el número de meteoritos del sistema solar era bastante más elevado. El enfriamiento provocó la formación de plegamientos.

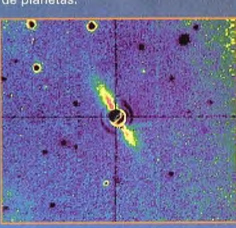
DE LAS PARTÍCULAS A LOS PLANETAS

Los primeros cuerpos que se formaron a partir de la nebulosa solar, los llamados planetésimos, tenían tamaños comprendidos entre unos centímetros y unos pocos kilómetros. Se trataba de masas informes carentes de la gravedad suficiente para llegar a ser esféricas, con un aspecto externo condicionado por la estructura cristalina de las partículas que las formaban.



OTRAS NEBULOSAS

Aunque nadie ha conseguido todavía observar planetas exteriores al sistema solar, existen pruebas de la existencia de materiales sólidos alrededor de algunas estrellas próximas a nosotros. El satélite IRAS (Infra Red Astronomical Satellite; satélite astronómico de infrarrojos) ha detectado una radiación astronómica emitida por la estrella Vega, situada en la constelación de la Lira, tal vez procedente de un disco de polvo que rodea la estrella. Su temperatura y su luminosidad permiten pensar que el disco está constituido por una nebulosa con un diámetro doble que el de nuestro sistema planetario. Otro objeto similar ha sido cartografiado en torno a la estrella Beta *Pictoris*. Un haz luminoso enmascara parcialmente la luz del astro: un disco de polvo visto lateralmente. Este disco es enorme (más de 20 veces el tamaño de la órbita de Plutón); dicha característica, asociada al hecho de que Beta *Pictoris* es una estrella más joven y masiva que el Sol, sugiere que en el interior del disco podría tener lugar un proceso de formación de planetas.



Arriba, Beta* Pictoris*, que dista 50 años luz de la Tierra. ¿Podría tratarse de un sistema solar en formación?

LOS PLANETAS TERRESTRES

Aunque muy distintos entre sí, Mercurio, Venus, la Tierra y Marte se formaron a partir de procesos idénticos. Mercurio es denso y tiene un gran núcleo ferroso; Venus tiene una temperatura superficial de 480 °C; la Tierra hospeda numerosas formas de vida; y Marte posee el mayor volcán del sistema solar.



Mercurio



Venus



Tierra



Marte

LOS PLANETAS GIGANTES

En las regiones más exteriores de la nebulosa solar, distintos procesos condujeron a la formación de los planetas gaseosos: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Una temperatura más fría y una densidad superior indujeron composiciones químicas diferentes y la formación de núcleos más pequeños. Los dibujos representan tres estadios de la formación planetaria. Plutón no ha sido representado, porque carece de composición gaseosa.

En pocas decenas de miles de años, los planetésimos crecieron hasta convertirse en protoplanetas, con diámetros comprendidos entre 100 y 1.500 kilómetros. Llegados a este punto, al poseer una masa capaz de atraer cuerpos más pequeños, adquirieron un aspecto físico uniforme.

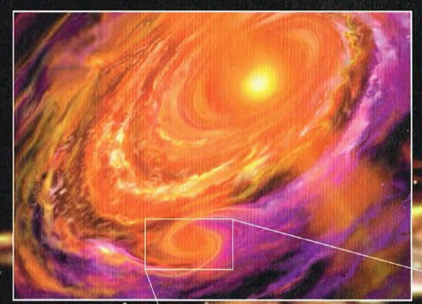
Los planetas terrestres (Mercurio, Venus, la Tierra y Marte) tardaron unos 100 millones de años en pasar de protoplanetas a su tamaño actual por acumulación de masas más pequeñas. El proceso vació una vasta región alrededor de los protoplanetas y llevó a la actual separación entre planetas.

No todos los planetésimos dieron origen a cuerpos de mayor tamaño; algunos, rocosos y metálicos, no crecieron más y formaron los asteroides. Los planetésimos de hielo se aglomeraron formando los núcleos de los cometas, la mayoría de los cuales fueron arrojados al sistema solar exterior por la fuerza gravitacional de los planetas más grandes, como Júpiter. Estos residuos fueron desplazados a dos regiones principales: una, situada inmediatamente detrás de Plutón, es el Cinturón de Kuiper; la otra, la Nube de Oort, es todavía más externa, pues se encuentra en los confines mismos del sistema solar.

CALOR Y FRÍO

El Sol empezó a formarse y a irradiar energía hace unos cinco mil millones de años. El calor emitido por el Sol y su campo magnético influyeron en la composición del gas y el polvo de las distintas regiones de la nebulosa solar. Los planetas en vías de formación estaban compuestos por la

Estadio 1 (abajo): dentro del disco de materia empiezan a formarse los planetas gaseosos. El viento solar empuja los gases más ligeros hacia la parte exterior de la nebulosa, donde son atrapados por estos gigantescos cuerpos.



Estadio 2 (a la derecha): debido a la fuerza de la gravedad, todos los planetas que se encuentran dentro del disco mayor quedan rodeados por un disco de polvo que gira sobre sí mismo. El mismo mecanismo induce, en el exterior de este último, la formación de satélites.



Estadio 3 (fotografía principal): se forman los núcleos de los planetas externos. Como en el caso de los planetas terrestres, los materiales más pesados empiezan a penetrar hacia el centro. Los núcleos, más fríos, no están compuestos por rocas y metales, sino por rocas y hielo. El manto externo consta de líquidos helados y de gases. Además, los planetas tienen envolturas gaseosas.

misma combinación de polvo y partículas gaseosas que el medio que los rodeaba.

La temperatura del centro de la nebulosa era demasiado elevada para que cualquier fragmento pudiera solidificarse. Sólo cuando la temperatura bajó a 1.000 °C pudieron condensarse materiales como el hierro; temperaturas todavía más bajas hicieron posible la aparición de cuerpos formados de hielo. La nebulosa solar, pues, tenía una composición que variaba con la distancia al Sol. En algunas zonas, la temperatura, demasiado elevada, no permitió a ciertos materiales condensarse y entrar a formar parte de la composición final de un planeta.

TEMPERATURA VARIABLE

Los estudios realizados sugieren que fue necesaria una temperatura mínima para provocar la formación de cada planeta. Estas temperaturas fueron del orden de: 1.100 °C para Mercurio; 600 °C para Venus; 300 °C para la Tierra; 100 °C para Marte; y –100 °C para Júpiter. Júpiter y Saturno han conservado un porcentaje de hidrógeno y helio gaseosos muy similar al de la nebulosa primitiva que dio origen al sistema solar. Además, estos planetas tienen muchos satélites formados en gran medida por hielo, lo cual demuestra que en esta parte del joven sistema solar la temperatura media nunca ha sido superior a los 0 °C.

ALTA DENSIDAD

Según una teoría que goza actualmente de gran aceptación, los núcleos de los planetas gigantes se habrían encontrado en una región de altísima densidad de la nebulosa solar; el subsiguiente colapso gravitacional de los gases habría dado origen a planetas rocosos rodeados por envolturas de hidrógeno y helio. Júpiter y Saturno se convirtieron en planetas de mayor tamaño porque atrajeron una mayor cantidad de gas; Urano y Neptuno, que estaban en una región menos densa, se desarrollaron más lentamente acumulando una masa gaseosa inferior. Según algunos estudiosos, el hidrógeno y el helio presentes en las proximidades de estos dos planetas fueron barridos por el viento solar, emitido por

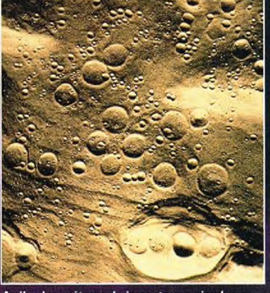
LOS GIGANTES GASEOSOS

Los cuatro planetas gigantes presentan grandes diferencias: Júpiter tiene una masa tres veces mayor que la de todos los demás juntos; Saturno se caracteriza por sus anillos; y las atmósferas de Urano y Neptuno están rodeadas por nubes de metano.





A la izquierda, el inmenso cañón Valles Marineris, *en Marte, tiene más de 3.000 km de longitud y 8 km de profundidad; es, pues, diez veces más largo y cuatro veces más profundo que el Gran Cañón de Estados Unidos. Los movimientos superficiales y la erosión causada por antiguos cursos de agua crearon estos cañones, que constituyen una prueba de lo mucho que han cambiado los planetas desde su formación.*



Arriba, los cráteres de impacto que siembran la superficie lunar. Los más grandes están rodeados de otros mucho más pequeños, llamados cráteres secundarios, producto del impacto de los fragmentos. La Luna es objeto de una ligera erosión; en la superficie se observan las huellas de los cambios acaecidos.

el centro de la nebulosa, lo cual les impidió crecer como Júpiter y Saturno por acumulación de estos gases.

LAS «CICATRICES» DEL TIEMPO

Los planetas y satélites rocosos han sufrido cambios continuos desde el instante de su formación. Estas modificaciones se han manifestado en una amplia variedad de fenómenos, como la formación de cráteres, la fusión de las rocas y las erupciones volcánicas. La mayor parte de las «cicatrices» que marcan la superficie de los planetas se deben a la formación de cráteres, un fenómeno común en las primeras fases de la historia del sistema solar.

Un cráter nace cuando un meteorito golpea la superficie de un planeta, provocando la emisión de ondas de choque a través de la roca circundante. La gran violencia del impacto vaporiza el meteorito y arroja fragmentos incandescentes a gran distancia del cráter. Observando la superficie de la Luna, donde los efectos de la erosión son muy reducidos a causa de la ausencia de viento y lluvia, los astrónomos han logrado averiguar que la tasa de formación de cráteres ha cambiado con el tiempo.

EL «GRAN BOMBARDEO»

Hace unos cuatro mil millones de años, el número de asteroides que chocaban contra los planetas era cientos o miles de veces mayor que ahora. Este número se redujo drásticamente hace unos tres mil millones de años, lo cual ha llevado a creer en un «gran bombardeo», una especie de operación de limpieza que atrajo hacia los planetas los residuos nacidos de la nebulosa solar.

La Tierra debió de sufrir una terrible devastación en las primeras fases de su historia, pero las huellas de este bombardeo fueron borradas por la erosión, la actividad volcánica y los fenómenos ligados a la tectónica de placas. No obstante, Mercurio, Marte y los satélites de los planetas gaseosos muestran evidentes signos de esta formación original de cráteres. La sonda espacial Magellan ha logrado tomar impresionantes imágenes de los cráteres de la superficie de Venus.

CREACIÓN DE UNA ATMÓSFERA

Los astrónomos no saben con exactitud cómo desarrollaron los planetas terrestres sus propias atmósferas. No obstante, es evidente que las atmósferas primitivas fueron bastante distintas de las actuales.

IMPACTOS DE METEORITOS

A lo largo de su historia, todos los planetas han sufrido un intenso bombardeo de meteoritos. Estos impactos aún tienen lugar, aunque a un ritmo mucho más reducido. También la Tierra ha sufrido tales acciones, pero los efectos de la tectónica de placas, las erupciones volcánicas y la erosión han borrado la mayor parte de las huellas. En el dibujo se representa el impacto de un meteorito contra un planeta, con la consiguiente dispersión de los fragmentos fundidos en todas direcciones.

DATOS	TIPO DE PLANETA	ATMÓSFERA
MERCURIO	Rocoso	Ninguna
VENUS	Rocoso	Dióxido de carbono + N_2
TIERRA	Rocoso	Nitrógeno + oxígeno
MARTE	Rocoso	N_2 + dióxido de carbono
JÚPITER	Gaseoso	Hidrógeno + helio
SATURNO	Gaseoso	Hidrógeno + helio
URANO	Gaseoso	Hidrógeno + metano
NEPTUNO	Gaseoso	Hidrógeno + metano
PLUTÓN	Rocoso	Metano

Probablemente, la mayoría de los gases fueron producidos por erupciones volcánicas. En el caso de la Tierra, los gases inicialmente presentes en la atmósfera estaban formados por vapor de agua, hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y nitrógeno. El hidrógeno escapó probablemente a la fuerza de atracción gravitacional terrestre, como a la de los demás planetas internos. La producción de cantidades significativas de oxígeno molecular tuvo lugar gracias a la aparición de los vegetales y, sobre todo, a la fotosíntesis (el proceso por el cual las plantas convierten energía luminosa en energía química).

CERCA Y LEJOS

El tamaño y la posición de los planetas dentro del sistema solar también ha influido en la naturaleza y en el desarrollo de sus atmósferas. Mercurio, por ejemplo, carece de atmósfera porque se encuentra demasiado cerca del Sol. Venus, en cambio, posee un sofocante estrato de dióxido de carbono que retiene el calor solar, por lo que su temperatura atmosférica es mucho mayor que la de la Tierra. Marte tiene una fuerza de atracción gravitacional pequeña y no consigue retener los gases más ligeros, como el hidrógeno y el helio, a pesar de lo cual dispone de una atmósfera de nitrógeno y dióxido de carbono. Los planetas gigantes, debido a su enorme masa, han conservado una atmósfera de hidrógeno y helio.

PERSONAJES

GERARD PETER KUIPER



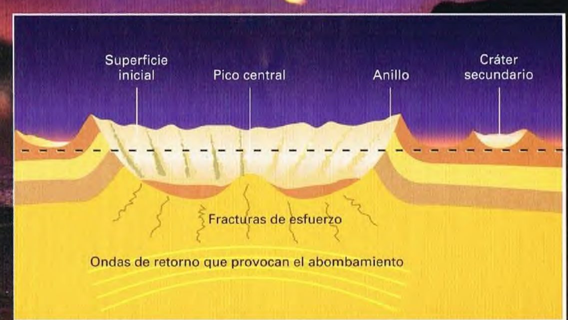
1905 - 1973

Gerard Peter Kuiper fue un astrónomo de origen holandés que volvió a poner de actualidad la astronomía del sistema solar, cuando la mayor parte de los científicos sólo mostraban interés por el estudio de las estrellas y las galaxias lejanas.

Realizó numerosos descubrimientos en el campo de la investigación planetaria: la atmósfera de metano en Titán, la tenue atmósfera de dióxido de carbono en Marte, un quinto satélite de Urano (Miranda) y un segundo satélite de Neptuno (Nereida). En 1960, Kuiper fundó el Lunar and Planetary Laboratory de la Universidad de Arizona, en Tucson, dedicado al estudio del sistema solar. El nombre de Kuiper está asociado a tres cráteres, que se encuentran en Mercurio, la Luna y Marte, y a una región situada más allá de Plutón conocida como Cinturón de Kuiper.

ANILLOS PLANETARIOS

Alguno de los planetas exteriores, el más famoso de los cuales es Saturno, están rodeados de unos anillos, cuyo origen sigue siendo todavía objeto de discusión por parte de astrónomos y físicos. Es posible que se trate de restos de un satélite primordial desintegrado por una colisión con un meteorito, en la fase inicial del nacimiento del planeta. Estos anillos están formados por partículas de polvo y hielo, similares a los componentes originales de la nebulosa planetaria.



A la derecha, sección lateral de un cráter ideal. Cuando un meteorito impacta con la superficie, crea un cráter circular de tamaño cuarenta veces mayor que el suyo. Aunque el meteorito se vaporiza como consecuencia del impacto, la explosión arroja con violencia gran cantidad de fragmentos rocosos hacia el exterior formando un anillo. El material fundido y las rocas lanzados fuera del cráter generan cráteres secundarios. Los cráteres de gran tamaño presentan un pico central a causa del abombamiento de la superficie provocado por la onda de choque de retorno del impacto.

HA NACIDO UNA ESTRELLA

Todas las estrellas proceden de nubes de gas y polvo. Tras un colapso que dura millones de años, se forma una esfera en rotación con una masa suficiente para poner en marcha los procesos de fusión nuclear. Así nace una estrella.

La nebulosa inicial nace de un disco de gas y polvo. La fuerza de la gravedad, cada vez mayor, va formando una esfera de materia que gira sobre sí misma.

Las estrellas nacen cuando una nube formada esencialmente de hidrógeno y polvo colapsa por efecto de la fuerza de la gravedad. Gracias a los telescopios, los astrónomos pueden ver estas zonas como manchas oscuras que destacan sobre un fondo más luminoso. Una de estas áreas de formación estelar, la Nebulosa de Orión, es perceptible a simple vista.

Según los científicos, las primeras estrellas se formaron porque la materia no estaba distribuida uniformemente en el universo en expansión; la materia se fue agregando a medida que el gas se iba condensando en nubes, a causa de la gravedad.

Algunas estrellas, llamadas de segunda generación, se formaron a partir de restos de explosiones de estrellas más viejas. La explosión de una estrella puede producir ondas de choque que atraviesan una nebulosa y logran condensar gas y polvo. Una vez más, la fuerza de la gravedad se vuelve más intensa dentro de estas densas acumulaciones de materia, hasta el punto de que alcanza valores tan elevados que parte de la nube de gas y polvo empieza a aglomerarse y a colapsar.

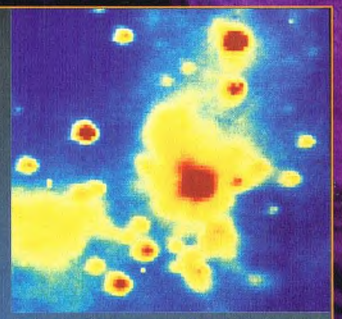
LOS GLÓBULOS DE BOK

Mientras parte de la nebulosa sigue colapsando, empiezan a formarse acumulaciones de esferas de gas y polvo, densas y oscuras, llamadas glóbulos de Bok. Deben su nombre a un astrónomo norteamericano de origen holandés, Bart Bok (1906-1983), que fue el primero en observarlos. Los glóbulos de Bok tienen una masa 200 veces mayor que nuestro Sol.



LA FORMACIÓN DE UNA ESTRELLA

En el proceso de formación que dura millones de años, las estrellas atraviesan varias fases.
* La protoestrella se separa de la nube de gas y polvo.
* La estrella T *Tauri*, muy joven y en la cual apenas se han iniciado las reacciones nucleares, emite luz de un modo imprevisible. El astro expulsa chorros de materia, los cuales, al calentar los gases interestelares circundantes, lo hacen tan brillante que se convierte en un objeto de tipo Herbig-Haro.
* Un objeto de tipo Herbig-Haro, mancha brillante de polvo y gas, cambia de aspecto en períodos muy breves.
* Una estrella de la secuencia principal es un astro que libera energía por medio de la fusión nuclear y cuyo núcleo posee una enorme cantidad de combustible en forma de hidrógeno.



Arriba, imágenes de infrarrojos del cúmulo Kleinmann Bajo. Las jóvenes estrellas T* Tauri *(rojas) calientan el polvo circundante (amarillo), que emite radiaciones infrarrojas.

La nueva protoestrella atrae cada vez más materia a medida que prosigue su movimiento de rotación. La temperatura del núcleo alcanza millones de grados y la materia se eyecta al exterior por los polos.



UNA NEBULOSA POR CUNA

El esquema muestra tres fases de la formación de una estrella que duran varios millones de años. Los cúmulos de gas y polvo de las galaxias son cunas potenciales para nuevas estrellas. Las ondas de choque emitidas por estas últimas y por las estrellas viejas en fase terminal provocan la formación de nuevos astros.



Arriba, esta imagen óptica muestra la nebulosa Cabeza de Caballo de la constelación de Orión; se trata de la pequeña área oscura de materia que destaca sobre el fondo luminoso circundante. La nube brillante de gas y polvo está iluminada por las estrellas estables; el color rojo se debe a la presencia de hidrógeno.

Si la protoestrella tiene masa suficiente, la temperatura y la presión del núcleo alcanzan valores elevados. El «reactor nuclear» comienza su actividad y la estrella deja de colapsar. El viento solar barre el polvo y el gas, y revela la luz emitida por la estrella.



Imagen de la Vía Láctea en la que se observa la estrella más brillante del cielo, Sirio (en la parte alta). Las nubes circundantes emiten una luz rosada que se debe a la radiación ultravioleta de las estrellas que contienen.

Mientras el glóbulo de Bok se contrae, su masa crece por incorporación de cantidades de materia cada vez mayores tomadas de las zonas circundantes por atracción gravitatoria. Dado que la parte interior se contrae más rápidamente que la exterior, el glóbulo empieza a calentarse y a girar sobre sí mismo. Al cabo de cientos de miles de años de contracción se forma una protoestrella.

EVOLUCIÓN DE UNA PROTOESTRELLA

Debido al incremento de masa, la gravedad va concentrando la materia en el centro de la protoestrella. La energía del gas se transforma en calor, y la presión, la densidad y la temperatura de la protoestrella aumentan. El aumento de temperatura la hace brillar con un color rojo oscuro. La protoestrella es muy grande, y su energía térmica está distribuida por toda la superficie; por lo tanto, esta última está relativamente fría. En el núcleo, sin embargo, la temperatura crece hasta alcanzar varios millones de grados Celsius, y la rotación se hace tan grande que la forma globular empieza a aplanarse. Este proceso, llamado condensación, dura millones de años.

Las estrellas jóvenes son difíciles de ver porque todavía están envueltas por una nube de polvo oscura, pero pueden ser identificadas mediante instrumentos sofisticados, como los telescopios de infrarrojos.

El núcleo de la protoestrella está rodeado de un disco de materia en rotación, provisto de una capacidad de atracción cada vez mayor. El núcleo está en ese momento tan caliente que expulsa materia por los dos polos, donde la resistencia es mínima. Con el tiempo se expulsa la mayor parte del polvo que rodea el núcleo caliente.

UNA VERDADERA ESTRELLA

La temperatura de la superficie de la protoestrella es ya de miles de grados. Lo que sucede a continuación depende de la masa del astro; si ésta es pequeña, del orden del 10% de la masa del Sol, el astro no llegará a ser lo bastante caliente para iniciar una reacción nuclear y no se convertirá en una verdadera estrella.

En consecuencia, la estrella más pequeña posible tendrá una masa equivalente a cerca del 10% de la masa de nuestro Sol. Una nube de gas menos masiva seguirá contrayéndose bajo la acción de la gravedad, se irá enfriando paulatinamente y se convertirá en una enana parda.

Júpiter es un ejemplo de cuerpo demasiado pequeño para llegar a ser una estrella. Si su masa hubiera sido un 60% mayor, en su seno se habrían desencadenado reacciones nucleares, y el Sol y Júpiter habrían constituido un sistema estelar binario.

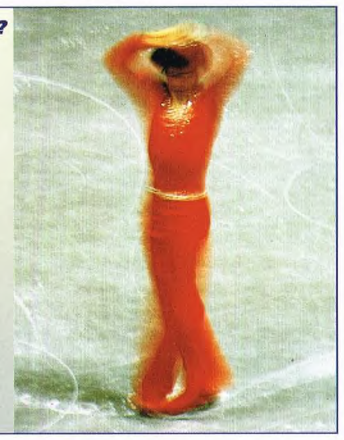
REACCIONES NUCLEARES

Si la protoestrella tiene una masa igual o mayor que el 10% de la masa solar, sigue colapsando por obra de la gravedad. La presión y la temperatura del núcleo aumentan, y esta última alcanza un valor de unos 10 millones de grados. Se llega así al punto en que pueden ponerse en marcha las reacciones de fusión de los átomos de hidrógeno en helio. En la protoestrella se activa entonces un «reactor nuclear» y



¿POR QUÉ GIRAN LAS ESTRELLAS?

La rotación cada vez mayor de las estrellas es comparable a la de un patinador que, al comenzar a girar sobre sí mismo, tiene los brazos extendidos; cuando los acerca al cuerpo, la velocidad de rotación aumenta. Para reducirla, el patinador extiende otra vez los brazos.
Las fuerzas que actúan sobre una nube de gas y dentro de ella provocan un ligero movimiento de rotación. Cuando la estrella se contrae bajo la acción de la fuerza de la gravedad y se vuelve más pequeña, la situación es la misma que la del patinador que recoge los brazos; la rotación, inicialmente mínima, se multiplica. Si el tamaño se reduce y disminuye la distancia de las partículas al centro, la única manera de mantener constante el momento angular (magnitud que expresa la capacidad de rotación de un cuerpo) consiste en incrementar la velocidad de rotación. La ley de la conservación del momento angular rige para todos los objetos del universo, razón por la cual las nubes de gas, las estrellas y los planetas giran.





Arriba, Orión, el Cazador, es una de las constelaciones más fácilmente reconocibles. La nebulosa de Orión, M42, se observa a simple vista como una parte de la Espada de Orión sujeta al cinto.

Arriba, el cúmulo estelar de las Pléyades, M45, formado hace 50 millones de años, se mueve dentro de una nube interestelar.

ésta se convierte en una verdadera estrella. Por último, un fuerte viento estelar barre la envoltura de polvo y permite ver la luz del astro. Este estadio (T *Tauri*) puede durar hasta 30 millones de años. A partir de los residuos de gas y polvo, pueden nacer planetas.

El detonante de una nueva estrella puede causar también ondas de choque que atraviesan la nebulosa y provocan la condensación de nueva materia: el proceso prosigue a través de la nube de gas y polvo.

Las estrellas de más pequeñas dimensiones son tenues y frías, mientras que las mayores son calientes y brillantes. Durante la mayor parte de su vida, la estrella se encuentra en una delicada situación de equilibrio. La fuerza de la gravedad tiende a aplastarla y a reducir su tamaño, mientras que la energía procedente de las reacciones nucleares la dilata hacia el exterior y la hace mayor. Mientras estas dos fuerzas se neutralicen, la estrella permanecerá estable y formará parte de la llamada secuencia principal.

Arriba, la nebulosa Laguna, que debe su nombre a la forma de la cinta oscura que la atraviesa. Es muy grande, con una anchura de unos 100 años luz, y muy luminosa. Se encuentra en la constelación de Sagitario, a 5.000 años luz de la Tierra. Esta estrella es visible desde la mayor parte de los puntos de la Tierra con un pequeño telescopio e incluso con unos prismáticos. Pero sólo las fotografías de larga exposición consiguen captar su belleza.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

OBSERVAR UNA NEBULOSA

En las regiones de formación estelar, las protoestrellas captan la luz visible dentro de su propio campo gravitatorio. Aparecen como manchas oscuras que contrastan con una estela, más luminosa que el gas y el polvo, emitida por la luz de las verdaderas estrellas.

A SIMPLE VISTA

La nebulosa de Orión es una región de formación estelar perceptible a simple vista. Con unos prismáticos, se observa con más claridad el polvo oscuro. La nebulosa contiene muchas estrellas T *Tauri*.

CON UNOS PRISMÁTICOS

Las Pléyades, en la constelación de Tauro, son un grupo de estrellas muy jóvenes. Se pueden llegar a identificar incluso a simple vista, pero unos prismáticos revelan cientos de estrellas a su alrededor.

CON UN TELESCOPIO

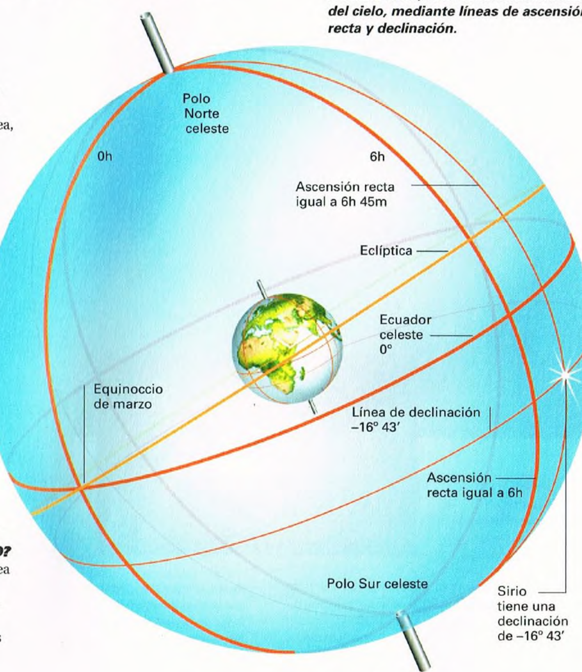
La nebulosa Laguna, M8, de la constelación de Sagitario, es visible casi desde cualquier punto de la Tierra. Con un pequeño telescopio, M8 revela un número de glóbulos de Bok de materia condensada de color oscuro.

LA ESFERA CELESTE

El cielo aparece como una gigantesca esfera sembrada de estrellas con la Tierra en el centro. Para localizar los astros con precisión se puede utilizar este esquema.

LOCALIZAR UNA ESTRELLA

La figura muestra cómo se puede localizar Sirio, la estrella más luminosa del cielo, mediante líneas de ascensión recta y declinación.





Nuestros ojos nos permiten una visión tridimensional del mundo que nos rodea, lo cual significa que podemos percibir la profundidad de los objetos que estamos observando, al menos hasta una cierta distancia.

Para objetos distantes unos pocos kilómetros, esta capacidad empieza a menguar y lo que vemos es un panorama plano.

En el firmamento, esta falta de profundidad llega a su punto culminante; objetos muy alejados entre sí, como la Luna, una estrella o una galaxia, situados a distancias muy distintas de nosotros, nos parecen equidistantes de la Tierra.

Esta sensación visual es lo que nos permite hablar de la esfera celeste. En lo que hace referencia a observaciones, podemos tratar el cielo como si las distancias que nos separan de los objetos celestes fuesen todas iguales.

¿QUÉ SISTEMAS DE REFERENCIA PODEMOS ADOPTAR EN EL CIELO?

Uno de los primeros problemas que plantea la observación del cielo consiste en establecer un orden dentro de las estrellas que permita orientarnos.

Un sistema estriba en reunir las estrellas en grupos llamados constelaciones y en utilizar estos grupos para diferenciar las distintas regiones. En el curso de los siglos, distintas poblaciones han definido diferentes constelaciones en el firmamento pese a observar las mismas ordenaciones de estrellas; la fantasía ha sugerido formas distintas ligadas a mitos religiosos: animales u objetos de uso corriente.

Esta arbitrariedad en la definición del aspecto y los límites de las constelaciones fue superada por una convención establecida por la Unión Astronómica Internacional en 1930 y reconocida universalmente. De acuerdo con esta convención, la bóveda celeste se divide en 88 constelaciones.

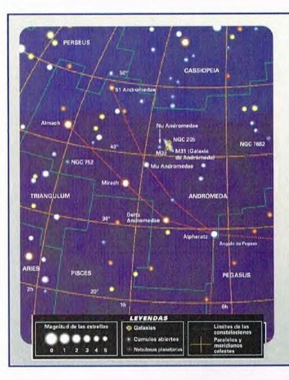
Pero el uso de las constelaciones para localizar los objetos celestes no brinda unas informaciones lo bastante precisas. Por ejemplo, es imposible identificar el planeta Plutón limitándose a indicar la constelación a la que pertenece.

LAS COORDENADAS CELESTES

Existe un sistema más preciso para individualizar los objetos del cielo, el que se basa en las coordenadas celestes.

Lo mismo que en la Tierra es posible identificar un punto cualquiera de la superficie a través de la latitud y la longitud, en el cielo se pueden introducir coordenadas que imitan el significado y la función de las coordenadas terrestres.

Llamaremos polo Norte y polo Sur a los puntos en que la prolongación del eje de la Tierra corta la esfera celeste. Se trata de puntos situados en la vertical de los polos Norte y Sur terrestres.



LAS CARTAS DE LA GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

La sección «Guía de las constelaciones» describe las 88 constelaciones reconocidas por la Unión Astronómica Internacional. Las constelaciones se ilustran por medio de una carta celeste que muestra los colores y la magnitud de las estrellas de las constelaciones y de las regiones vecinas. Se indican también las líneas de ascensión recta y de declinación, así como los límites de la propia constelación. En las leyendas figura la magnitud de las estrellas. Se indican, además, las posiciones de los principales objetos no estelares: cúmulos abiertos, cúmulos globulares, nebulosas y galaxias.

De la misma manera, el ecuador celeste será la línea en la que el plano del ecuador terrestre corta la bóveda celeste.

Podríamos hablar así de latitud y longitud, pero en el cielo estas coordenadas toman los nombres de declinación y ascensión recta, respectivamente.

Como en la Tierra, la declinación se mide en grados precedidos del signo + o – según si el punto se encuentra al norte o al sur del ecuador celeste. La ascención recta, por su parte, se mide en horas, minutos y segundos. Como un día comprende 24 horas y un giro completo son 360 °C, a cada hora le corresponde un ángulo de 15 °C.

La razón de que la ascensión recta se mida en horas puede comprenderse teniendo en cuenta que dos estrellas que posean la misma declinación y difieran en una sola hora de ascención recta pasarán por el mismo punto del cielo con un intervalo temporal de una hora.

DOS PUNTOS ESPECIALES

Los paralelos celestes son la proyección de los terrestres en el cielo; lo mismo ocurre con los meridianos, aunque hay una diferencia sustancial. Mientras que el paralelo de referencia (el ecuador) es el mismo en la Tierra que en el cielo, el meridiano de referencia terrestre es el que pasa por el Observatorio de Greenwich; en el cielo, en cambio, es otro.

Para encontrarlo, hay que considerar el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, que hace que el astro cambie su posición en el cielo día tras día, siguiendo una línea conocida como eclíptica (llamada así porque los eclipses se producen cuando la Luna, llena o nueva, se encuentra en dicha línea).

La eclíptica corta el ecuador celeste en dos puntos, llamados puntos equinocciales. El primero, que cae el 21 de marzo y coincide con el equinoccio de primavera en el hemisferio norte y con el de otoño en el hemisferio sur, es el punto en que empieza a contarse la ascensión recta hacia el este. El meridiano cero celeste, que pasa por este punto, recibe el nombre de coluro equinoccial.

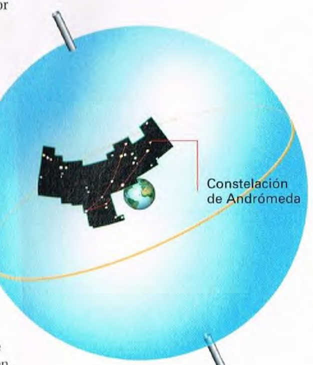
OTRAS COORDENADAS

El sistema de coordenadas ecuatoriales que acabamos de describir no es el único posible, aunque tiene la ventaja de seguir la bóveda celeste en su movimiento a través del arco de la noche.

Otro sistema de coordenadas toma como referencia la Galaxia. A veces, es conveniente saber cómo están dispuestos los objetos respecto al plano galáctico: si se encuentran en el disco, en el bulbo central o en el halo.

Las coordenadas galácticas tienen como elemento fundamental el plano de la Galaxia, que desempeña una función análoga a la del ecuador en la Tierra o a la del ecuador celeste en las coordenadas ecuatoriales.

Análogamente a lo que se hace con la Tierra, es posible definir un polo Norte galáctico y un polo Sur galáctico.



A la izquierda, el dibujo muestra la posición que ocupa Andrómeda dentro de la esfera celeste y tal como aparecería vista desde fuera de la esfera celeste. Se trata pues de una reflexión especular de la imagen que aparece en la carta de constelaciones, donde se representa tal como se ve desde la Tierra.

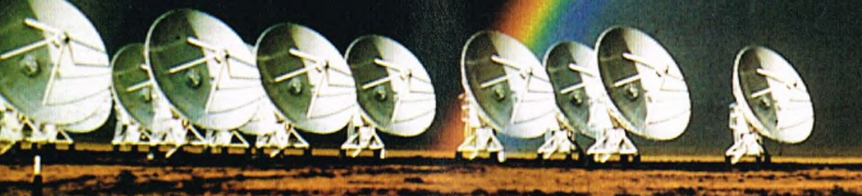
UN SISTEMA SIMPLE DE COORDENADAS

El modo más sencillo de identificar un astro en el cielo consiste en tomar como referencia el horizonte y la dirección del punto cardinal Sur.
Para localizar una estrella, hay que señalar su proyección sobre el horizonte y medir el ángulo que forma con el punto cardinal Sur: esta medida determina el acimut de la estrella.
Si se mide en grados la distancia entre la estrella y el horizonte se obtiene la segunda coordenada: la altura.
Este sistema de coordenadas, que presenta la ventaja de tener referencias fijas como el horizonte y el Sur, tiene sin embargo el inconveniente de atribuir a los astros unas coordenadas que varían a cada instante a causa de la rotación terrestre. Muchos telescopios de aficionados, sobre todo los de gran tamaño, tienen un tipo de montura que utiliza este tipo de coordenadas, llamadas altacimutales. Reciben el nombre de telescopios Dobson, en honor de su primer constructor, y tienen la ventaja de ser muy manejables.

EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

MENSAJES DE LAS ESTRELLAS

El universo nos envía toda la información necesaria para captar sus misterios, pero hace falta que los astrónomos sepan descifrarla.





Aunque la comprensión de los misterios del universo pueda parecer una tarea imposible, los astrónomos tienen ya gran cantidad de informaciones. Queda, sin embargo, el problema de su decodificación. Buena parte de dichas informaciones llega en forma de radiaciones electromagnéticas, un tipo de ondas que viajan por el vacío cósmico a la velocidad de unos 300.000 km por segundo.

La radiación electromagnética es una forma de perturbación eléctrica y magnética que se propaga por el espacio de la misma manera que una ola atraviesa el mar, es decir, con una serie de crestas y valles. Uno de los parámetros más importantes de este tipo de radiaciones, que puede ser fácilmente medido por los científicos, es la distancia entre dos crestas (o entre dos valles), la llamada longitud de onda.

EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El conjunto de longitudes de onda que puede tener una radiación recibe el nombre de espectro electromagnético. La luz visible constituye sólo una pequeña porción.

Las longitudes de onda de las radiaciones son muy variables: pequeñísimas, como en el caso de los rayos X, o enormes, como en el de las ondas de radio, que pueden alcanzar varios kilómetros. Estudiando las radiaciones, los astrónomos logran identificar las fuentes de donde parten las ondas y reconstruir las condiciones que éstas han encontrado durante su viaje hacia la Tierra.

El espectro electromagnético se divide en varias regiones, aunque no es posible trazar límites precisos entre ellas. Partiendo de uno de los extremos del espectro (donde se encuentran los rayos gamma), las longitudes de onda van aumentando; sucesivamente encontramos: los rayos X usados en medicina, los rayos ultravioletas de las lámparas solares, la luz visible, los rayos infrarrojos (emitidos por los cuerpos calientes), las microondas y las ondas de radio o radioondas.

RADIACIONES E INFORMACIÓN

La energía de una onda es inversamente proporcional a su longitud de onda, es decir, aumenta al disminuir la longitud de onda. Esta regla fundamental permite a los astrónomos estimar la temperatura de las fuentes de ciertos tipos de radiaciones. Por ejemplo, gracias a los rayos emitidos por la atmósfera del Sol, la denominada corona, se ha calculado que la temperatura de esta región del Sol es de aproximadamente un millón de grados centígrados.



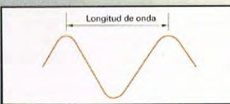
Arriba, espectroscopio de laboratorio que descompone la luz con una serie de prismas.

La espectroscopia, que es el estudio de las radiaciones electromagnéticas, comenzó con Isaac Newton. En uno de sus experimentos, el físico británico colocó un prisma delante de un rayo de sol y logró descomponer la luz en el espectro visible de

El Very Large Array (VLA), ubicado en Nuevo México (Estados Unidos), es el mayor radiotelescopio del mundo. Puede desplegar hasta 27 antenas parabólicas receptoras, cada una de las cuales tiene un diámetro de 25 m. Las ondas de radio más cortas que el VLA puede recibir del espacio tienen una longitud de onda de 13 mm. El arco iris que se ve al fondo representa la luz visible, otro tipo de radiación que constituye sólo una reducida parte del espectro electromagnético y cuyas longitudes de onda están comprendidas entre 380 y 750 nanómetros.

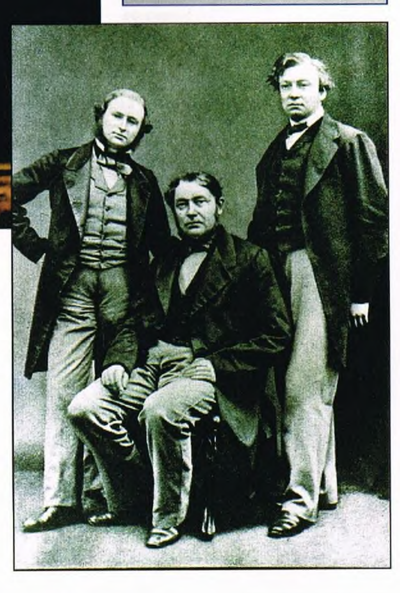
¿QUÉ ES LA LONGITUD DE ONDA?

Las radiaciones viajan por el espacio de la misma forma que las olas se propagan por la superficie del mar. Se puede simular el movimiento de propagación de una onda atando una cuerda por un cabo y moviendo arriba y abajo el otro cabo.
Los científicos pueden calcular la longitud de onda de una radiación midiendo la distancia entre dos picos o crestas. Esta distancia es la longitud de onda.



colores, un fenómeno similar al que da lugar al arco iris. En 1800, William Herschel (1738-1822) descubrió la región infrarroja del espectro electromagnético; más tarde, los científicos alemanes Gustav Kirchhoff (1824-1887) y Robert Bunsen (1811-1899) inventaron el espectroscopio, uno de los instrumentos que sirven para descomponer la luz blanca en sus colores componentes.

La atmósfera terrestre dificulta el estudio de gran parte de las radiaciones procedentes del espacio. Sólo las radiaciones de una cierta longitud de onda consiguen llegar a la superficie de nuestro planeta. Los rayos gamma, los rayos X y la mayor parte de los rayos ultravioletas e infrarrojos se reflejan hacia el espacio o son absorbidos por los gases atmosféricos. Para superar estos problemas, los astrónomos instalan sus detectores en aeróstatos o satélites y construyen observatorios de infrarrojos en la cima de las montañas más altas.



De izquierda a derecha, Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen, los inventores del espectroscopio, con el químico Henry Roscoe.

ASTRONOMÍA INVISIBLE

Con la ayuda de otras disciplinas de la ciencia y los satélites artificiales, los astrónomos han conseguido identificar todas las longitudes de onda del espectro electromagnético. Muchos descubrimientos se han realizado gracias a la «astronomía invisible», es decir, el estudio de las longitudes de onda del espectro que nuestros ojos no logran percibir.

Los rayos infrarrojos desempeñan un papel vital en la comprensión de las fases

El cuadro inferior muestra la longitud de onda típica en cada zona del espectro electromagnético y la temperatura a la que la materia emite radiaciones de dicha longitud de onda.

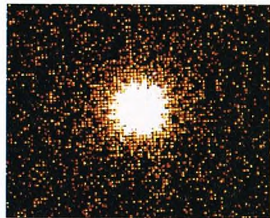
DATOS	LONGITUD DE ONDA	TEMPERATURA EN °C
RAYOS GAMMA	menos de 0,01 nm*	100.000.000
RAYOS X	10 nm	1.000.000
ULTRAVIOLETA	100 nm	100.000
LUZ VISIBLE	500 nm	5.000
INFRARROJOS	0,01 mm	100
MICROONDAS	1 mm	-100
ONDAS DE RADIO	más de 10 mm	-200

* El nanómetro (nm) es una unidad utilizada por los científicos para medir distancias muy pequeñas. Equivale a 10^{-9} m, es decir, a 0,000000001 m, una milmillonésima de metro.

La figura inferior muestra el espectro electromagnético, que comprende todas las longitudes de onda (indicadas en metros) posibles de la radiación electromagnética. Va de los rayos gamma (de longitud de onda grande como el diámetro atómico) a las ondas de radio, cuya longitud de onda puede alcanzar varios kilómetros.

10^{-15} 10^{-14} 10^{-13} 10^{-12} 10^{-11} 10^{-10} 10^{-9} 10^{-8} 10^{-7} 10^{-6} 10^{-5} 10^{-4} 10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 1 m 10^{1} 10^{2} 10^{3} 10^{4} 10^{5}

Rayos gamma · Rayos X · Ultravioleta · Luz visible · Infrarrojos · Microondas · Ondas de radio



Arriba, imagen de Cygnus X-1, tomada por el ROSAT, un satélite de detección de rayos X. Es posible que el área circular, emisora de rayos X, haya sido producida por gases calentados por rozamiento en un disco de materia dilatado a partir de una estrella supergigante.

Las radiaciones del espectro electromagnético penetran en las capas atmosféricas. El dibujo muestra los aparatos que miden cada tipo de radiación. La atmósfera bloquea los rayos gamma y los rayos X de alta energía, que se reflejan hacia el espacio. La luz visible, la radiación infrarroja, las microondas y las ondas de radio pueden detectarse desde la Tierra.

iniciales de la vida de una estrella. Las estrellas jóvenes se forman en el interior de nebulosas, nubes de gas y polvo, dispersas por el espacio, y rodeadas de una materia más fría y oscura que impide el paso de la mayor parte de la luz visible. Por ello, los astrónomos no consiguen observar qué sucede cuando nace una estrella, como tampoco se puede observar un astro a través de un denso banco de niebla. Las radiaciones infrarrojas, en cambio, atraviesan las nubes de gas y polvo, lo que permite a los astrónomos utilizar telescopios dotados de detectores de infrarrojos situados a gran altura o a bordo de satélites, como el Infrared Astronomical Satellite (satélite astronómico de infrarrojos).

Las radiaciones ultravioletas y los rayos X ayudan a identificar objetos celestes, como los agujeros negros. Los científicos consideran que Cygnus X-1 es un agujero negro, región del espacio donde la atracción gravitatoria es tan elevada que nada, ni siquiera la luz, puede escapar.

SINTONIZAR CON EL ESPACIO

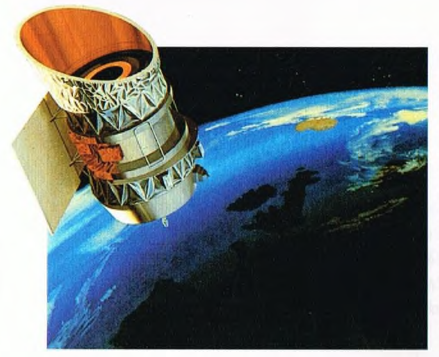
Las ondas de radio, las más largas del espectro electromagnético, también son útiles. De la misma forma que nosotros sintonizamos la radio para escuchar nuestra emisora favorita, los astrónomos pueden sintonizar con las radiaciones emitidas por determinadas moléculas del espacio. Cada molécula emite radiaciones en una determinada longitud de onda. Estas longitudes de onda son auténticas huellas dactilares que informan a los astrónomos sobre el tipo de moléculas que las han emitido. Por ejemplo, la longitud de onda del monóxido de carbono (CO) es de 2,6 mm; la del agua (H_2O), de 13,5 mm; y la del hidrógeno (H_2), de 210 mm. La identificación de las ondas de radio procedentes del espacio se conoce con el nombre de radioastronomía. Esta disciplina estudia la composición química de la materia presente en el universo.

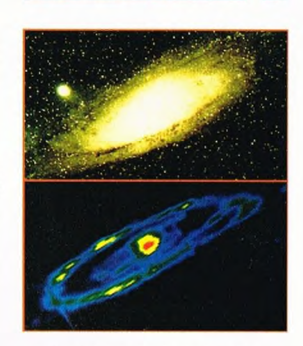
Las radiogalaxias, los cuásares y los púlsares son las fuentes más potentes de radioondas que se encuentran en el espacio.

EL BIG BANG

El descubrimiento más fascinante de la radioastronomía ha sido la prueba del eco dejado por el Big Bang, la enorme explosión con que comenzó nuestro universo. Según

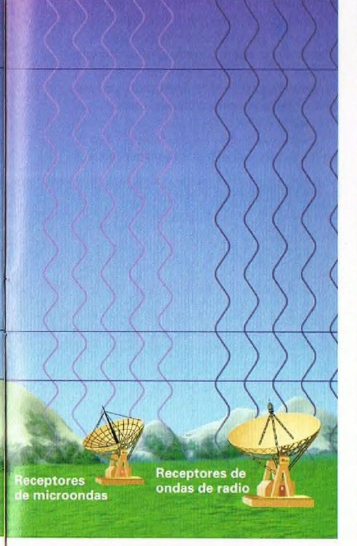
Rayos gamma
Rayos X
Ultravioleta
Luz visible
Infrarrojos
Exosfera
600 km
Telescopio espacial
Satélite
Ionosfera
Receptor de rayos gamma en un globo sonda
50 km
Estratosfera
10 km
Observatorio de montaña
Troposfera
Observatorio





A la izquierda, el satélite astronómico IRAS, lanzado en 1983, fotografió durante 10 meses las emisiones térmicas de infrarrojos procedentes del espacio. A la derecha, la comparación entre una imagen óptica de la galaxia de Andrómeda (arriba) y una imagen IRAS (abajo) de la misma galaxia muestra cómo las imágenes de infrarrojos suministran mayor información. Las regiones rojas y amarillas son las más calientes y activas.

la teoría del Big Bang, todo el universo está impregnado de una radiación de microondas que constituye el residuo de la energía de la explosión inicial. Este eco fue descubierto en 1965 por dos físicos norteamericanos, Arno Penzias y Robert Wilson, que estaban realizando experimentos con un detector muy sensible de microondas. Su descubrimiento, casual, resultó ser una prueba concluyente en favor de la teoría del Big Bang. Desde entonces, también el satélite COBE ha detectado una radiación de microondas dispersa por el espacio, contribuyendo así a cimentar la teoría.



HUELLAS DACTILARES QUÍMICAS

La descomposición de la luz permite estudiar las radiaciones en la parte visible del espectro electromagnético. Cada color corresponde a una radiación que posee una longitud de onda específica. Si la luz se dispersa formando un amplio arco iris, aparecen unas rayas oscuras distribuidas a lo largo de todo el espectro, llamadas rayas espectrales o de absorción, que se pueden observar con un espectroscopio portátil.

Se forman rayas espectrales cuando los elementos químicos presentes en la atmósfera absorben una determinada longitud de onda de la luz. Esto crea una interrupción del espectro de colores que se traduce en una raya espectral oscura. A cada elemento o compuesto químico le corresponde un conjunto específico de rayas espectrales. El estudio de las rayas espectrales de la luz emitida por el Sol y otras estrellas del universo permite determinar la composición química de las capas exteriores de los astros. En el Sol, por ejemplo, se han identificado así 80 elementos químicos distintos. La espectroscopia es un método muy útil para descubrir los secretos del cosmos.



CÓMO DETECTAR LAS RADIACIONES INFRARROJAS

Las radiaciones infrarrojas se encuentran en una región del espectro electromagnético invisible para el ojo humano, inmediatamente después de la longitud de onda del rojo de la luz visible. Es posible demostrarlo mediante un experimento que puede realizarse incluso en la escuela.
ATENCIÓN: ESTE EXPERIMENTO DEBE EFECTUARSE EN PRESENCIA DE ADULTOS.
El equipo necesario consta de un prisma triangular, con el cual se obtiene el espectro coloreado de la luz solar, y un termómetro con el bulbo pintado de negro, el color más adecuado para absorber las radiaciones infarrojas. Se coloca el bulbo justo encima de la banda roja del espectro. Al cabo de unos instantes, el nivel del termómetro empieza a subir a medida que la radiación infrarroja va calentando el mercurio del bulbo. El termómetro consigue detectar la radiación, invisible para nuestros ojos.



TRANSMISIONES EN DIRECTO


Telstar 1, el primer satélite de comunicaciones, conectaba Estados Unidos con Europa. Dos semanas después del lanzamiento (10 de julio de 1962), se realizó la primera transmisión trasatlántica en directo.

Los satélites especializados que orbitan alrededor de la Tierra han hecho posibles las telecomunicaciones a escala planetaria. Hoy en día, la tecnología vía satélite nos permite telefonear a cualquier punto de la Tierra y recibir en directo imágenes de todo el mundo.

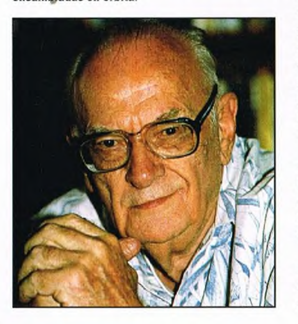


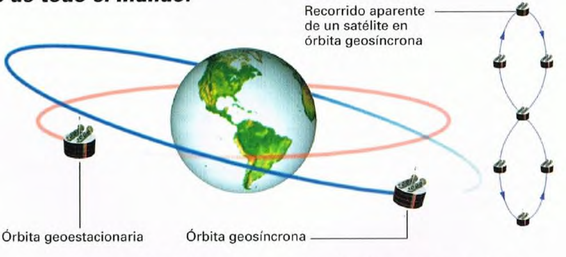
En 1944, un joven ingeniero británico imaginó que una estación de comunicación situada en el espacio cambiaría el mundo. Los satélites debían girar alrededor de la Tierra en una órbita estable de 35.880 km, recibiendo señales de radio de la superficie terrestre y retransmitiéndolas a localidades que, en aquella época, sólo podían estar conectadas a líneas telefónicas limitadas y a un servicio postal de superficie.

El ingeniero era Arthur Clarke, que llegaría a convertirse en un famoso escritor de ciencia ficción. En poco más de 10 años, su idea empezó a hacerse realidad.

El 4 de octubre de 1957 fue lanzado desde una base soviética el primer satélite artificial, el Sputnik I, que pesaba 84,6 kg, tenía un diámetro de 58 cm y alcanzaba una velocidad de 28.000 km/h, la mayor alcanzada hasta entonces por un objeto artificial.

El escritor de ciencia ficción Arthur Clarke tuvo la idea de emplear satélites para enviar informaciones a todo el globo terrestre e imaginó grandes estaciones espaciales ensambladas en órbita.





Arriba, un satélite colocado en órbita geoestacionaria efectúa un recorrido circular alrededor del ecuador terrestre. Como orbita con la misma velocidad de rotación que la Tierra, parece fijo en una posición determinada al observarlo desde el suelo. Un satélite en órbita geosíncrona cruza el ecuador siguiendo una órbita elíptica. Al observarlo desde la Tierra, parece trazar una figura en forma de ocho.

LOS TELSTAR EN ÓRBITA

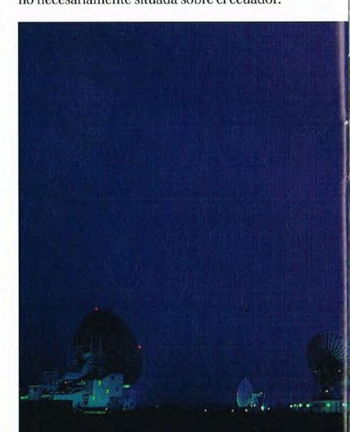
La idea de Clarke se llevó a la práctica el 10 de julio de 1962, cuando fue puesto en órbita el satélite Telstar 1. La serie de satélites Telstar tenían órbitas elípticas con una altitud mínima de 1.000 km. Debido a la baja altitud de la órbita del Telstar 1, las antenas de las estaciones terrestres debían seguir el satélite a lo largo de su trayecto en el cielo. Para lograr enviar una señal continua era necesaria una serie de satélites: cuando un satélite desaparecía tras el horizonte entraba otro en el radio de las estaciones terrestres.

El Telstar 1, que podía llevar 600 circuitos telefónicos o bien un canal de televisión, hizo posible la primera transmisión televisiva trasatlántica en directo, que conectó Estados Unidos con Francia y Gran Bretaña durante intervalos de casi 20 minutos.

ÓRBITAS DE LOS SATÉLITES

Normalmente, los satélites de comunicaciones se colocan en órbitas geoestacionarias o geosíncronas. Para completar tales órbitas, los satélites tardan 23 horas y 56 minutos, exactamente el tiempo que tarda la Tierra en girar sobre sí misma. Un satélite en órbita geoestacionaria efectúa un recorrido circular en torno al ecuador a una altitud de 35.900 km y parece encontrarse siempre en el mismo punto del cielo.

La órbita geosíncrona puede ser elíptica y no necesariamente situada sobre el ecuador.





El espectacular lanzamiento del Inmarsat-2 tuvo lugar el 30 de octubre de 1990 desde Cabo Cañaveral, en Florida. El satélite fue puesto en órbita geoestacionaria mediante tres propulsiones sucesivas de su motor.

Desde la Tierra, un satélite que recorre este tipo de órbita parece dibujar en el cielo una figura en forma de ocho, reapareciendo en el mismo punto cada día a la misma hora.

La construcción de un satélite es una operación larga, complicada y costosa. Ante todo, se ha de decidir si hay que destinarlo a comunicaciones telefónicas, a transmisiones televisivas o a ambas.

La mayor parte de los satélites comprenden dos importantes subsistemas: el módulo de servicio y la carga útil. El primero gestiona el funcionamiento normal de la nave: regulación y suministro de energía, control de la altitud del satélite, control de la temperatura y la telemetría. El segundo alberga el equipo necesario para la misión (por ejemplo, un dispositivo para recibir señales de radio).

EJE ESTABILIZADOR
Los dos ejes estabilizadores consisten en un imán situado en un extremo de un largo brazo; utilizan el campo magnético terrestre para estabilizar el satélite

ALETAS TÉRMICAS
Las aletas térmicas desvían el calor excesivo

PANELES SOLARES
Estos paneles solares unidos entre sí se abren cuando el Inmarsat ha alcanzado su órbita

SISTEMAS INMARSAT-2
El cuerpo principal contiene los sistemas de control y de comunicación. Los equipos constan de transmisores y receptores de banda L que se comunican con la estación terrestre, situada en Londres. Los transmisores y receptores de banda C envían las órdenes a los instrumentos del sistema

ALETA AOCS
La aleta del subsistema para el control de la órbita y de la orientación (AOCS) mantiene el satélite en su órbita y correctamente orientado

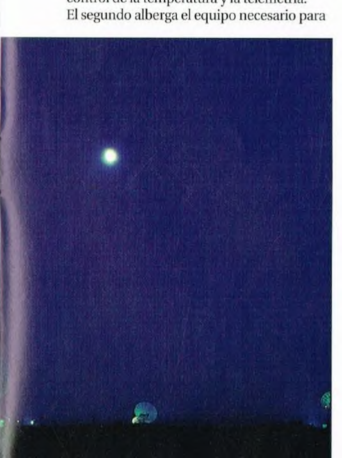
INMARSAT-2

Este satélite de nueva generación se caracteriza por un conjunto especial de antenas alojadas en el cuerpo principal. Cada antena está formada por un conjunto de facetas, análogas a las que forman el ojo de una mosca. Con estas antenas, se ahorra un 30% de espacio respecto a una antena parabólica.

SISTEMAS DE RESERVA

Los científicos e ingenieros que construyen los satélites deben proyectar componentes altamente fiables, ya que una vez en órbita las naves no pueden ser recuperadas ni reparadas cuando algo no funciona. Muchos satélites disponen de sistemas de reserva integrados que pueden ser activados en sustitución de los averiados.

Además, es necesario proteger la nave de las radiaciones emitidas por el Sol durante los períodos de mayor actividad (cada 11 años), cuando se producen fenómenos de elevada intensidad. Las radiaciones solares emitidas durante estos períodos pueden dañar irreparablemente los delicados componentes electrónicos de los satélites.



A la izquierda, la estación Goonhilly Earth de Cornualles (Inglaterra) participó en la histórica transmisión del Telstar en julio de 1962. La estación, gestionada por British Telecom, coordina todas las transmisiones vía satélite telefónicas, televisivas y comerciales.

SISTEMAS DE SATÉLITES

Un satélite consta de dos sistemas separados: uno para las operaciones generales y de control; y el otro encargado de la misión del satélite, como por ejemplo la transmisión de llamadas telefónicas.

Los instrumentos consisten en un receptor, que recoge las señales emitidas por una estación terrestre, y un transmisor que envía señales a nuevas estaciones. A menudo estos sistemas llevan asociado un amplificador para intensificar las señales.

Los satélites deben ser capaces de distinguir las señales procedentes de los transmisores y las que se deben a interferencias atmosféricas o a las radiaciones solares.

Los instrumentos electrónicos que filtran y amplifican las señales están reunidos en locales especiales sin polvo donde se filtra el aire. Los científicos e ingenieros que trabajan con estos instrumentos llevan trajes antipolvo, porque incluso la mínima partícula de polvo podría dañarlos.



Esta fotografía óptica, tomada desde la Tierra con un largo tiempo de exposición, muestra el recorrido de un satélite artificial a través del cielo nocturno, sobre el fondo de la Vía Láctea.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

LA OBSERVACIÓN DE LOS SATÉLITES

Pese al pequeño tamaño, de apenas unos metros, que generalmente tienen los satélites de comunicaciones, es posible identificarlos en un cielo nocturno sereno.

A SIMPLE VISTA

Aunque algunas revistas especializadas informan de la posición y los horarios de algunos satélites luminosos, es posible identificar algunos incluso sin estas informaciones.

En primer lugar, se debe buscar un lugar donde la iluminación sea lo más reducida posible.

Conviene luego no confundir un satélite con un avión. Este último suele tener luces coloreadas y se mueve (aparentemente) más deprisa. Un satélite tiene escasa luminosidad y a menudo es del mismo color (blanco) que las estrellas de la bóveda celeste; se mueve lentamente y puede volverse menos brillante cuando penetra en la sombra de la Tierra. Además, se puede distinguir un satélite de los meteoros o las estrellas fugaces, porque éstos dejan una pequeña estela luminosa al entrar en las capas superiores de la atmósfera y se mueven muy rápidamente a través de una región mucho más pequeña del cielo.

LA ENERGÍA SOLAR

Para llevar a cabo la mayoría de sus funciones, los satélites necesitan una cierta cantidad de energía eléctrica, procedente de una batería química, un reactor nuclear, o, más comúnmente, paneles o células solares de silicio. Las células solares funcionan convirtiendo directamente energía solar en energía eléctrica; no obstante, dado que la energía se genera sólo cuando las células son iluminadas por el Sol, el satélite debe llevar baterías de reserva.

Los diseñadores deben tener en cuenta las fuerzas naturales susceptibles de influir en la órbita del satélite, como el campo gravitatorio terrestre, la atracción gravitacional del Sol, la Luna y los planetas, la atmósfera terrestre, el campo magnético de la Tierra y las radiaciones solares. Todos estos factores deben ser evaluados también por los técnicos encargados de la programación de las misiones, para el cálculo de la carga útil, la vida operativa y las posibles órbitas del satélite.

LOS USOS COMERCIALES

Syncom II fue el primer satélite del mundo destinado a comunicaciones comerciales. Lanzado en 1962, orbitaba en torno a la Tierra a 5.800 km sobre el océano Atlántico. Este satélite realizó la primera cobertura de un acontecimiento deportivo, un combate de boxeo en Nigeria.

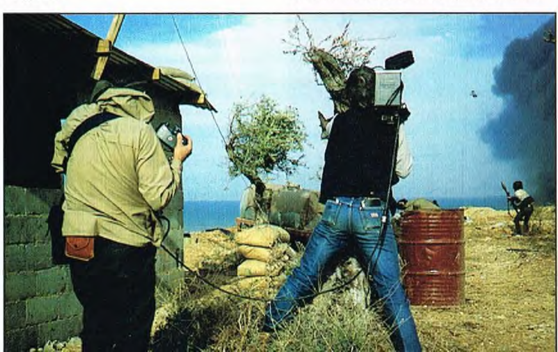
NUEVAS TECNOLOGÍAS

Uno de los más complicados satélites de comunicaciones es el TDRS-C (Tracking Data and Relay Satellite). Lanzado el 29 de septiembre de 1988, va provisto de antenas de comunicaciones y de paneles solares tan grandes como un edificio de cinco plantas. En un solo segundo, el TDRS-C puede transmitir el contenido de una enciclopedia de 20 volúmenes.

El Inmarsat-2, en cambio, es uno de los satélites de comunicaciones de nueva generación, con capacidad para 250 canales telefónicos. Este satélite va provisto de un característico conjunto de antenas en vez de la antena parabólica convencional. Cada antena tiene una estructura en facetas que recuerda el ojo de una mosca; ocupa un 30% de espacio menos porque, a diferencia de las antenas convenciales, no debe ser conectada a un eje.

Con el desarrollo de la tecnología, el mundo se vuelve cada vez más pequeño, encerrado como está dentro de una red de enlaces vía satélite. Hoy podemos telefonear o enviar mensajes para realizar o mantener contactos comerciales con cualquier lugar del mundo, como también podemos contemplar por televisión, desde el sofá de nuestro hogar, sucesos de todo tipo que tienen lugar en cualquier parte del globo.

Un reportero y un operador de televisión en acción en uno de los «puntos calientes» del mundo. La red de satélites conectados entre sí permite asistir en directo a la mayor parte de los acontecimientos que tienen lugar en el mundo.





EN EL PRÓXIMO NUMERO

EL SISTEMA SOLAR

OBSERVAR LOS PLANETAS

ESTRELLAS Y GALAXIAS

GRANDES ESFERAS DE FUEGO

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

ESCORPIÓN

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

CITA EN EL ESPACIO

EL USO DEL ESPACIO

LA TECNOLOGÍA DEL ESPACIO



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

5



PLANETA DeAGOSTINI

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Abril 1998

PLANETA DeAGOSTINI

OBSERVAR LOS PLANETAS

Con unos prismáticos o un pequeño telescopio se pueden descubrir algunos misterios del sistema solar.



Convertirse en un astrónomo aficionado es más fácil de lo que se puede pensar. En efecto, sin la ayuda de ningún instrumento, se puede aprender a reconocer las constelaciones y a familiarizarse con las posiciones de los planetas observándolos a simple vista. Sin embargo, para empezar a explorar nuestro sistema solar, es necesario un telescopio o unos buenos prismáticos, así como una carta celeste en la que se indique la posición de los planetas.

LA ELECCIÓN DEL INSTRUMENTO ADECUADO

Decidir qué instrumento es necesario adquirir puede resultar difícil, por lo que una buena norma es pedir consejo a alguien que ya tenga experiencia. Un establecimiento especializado es el mejor lugar para empezar; como alternativa, se pueden pedir catálogos y material ilustrado a los profesionales que tratan con instrumentos astronómicos. También las asociaciones astronómicas facilitan información a los astrónomos aficionados en ciernes.

Para evitar un gasto que puede ser importante, muchos principiantes prefieren empezar con unos buenos prismáticos, que permiten hacer más observaciones de lo que parece.

Sin embargo, sólo con un telescopio se puede entrar verdaderamente en materia. Hay que tener presente la regla general según la cual cuanto mayor sea el espejo principal o la lente de un telescopio, más elevada será la cantidad de detalles que se pueda ver. No hay que dejarse engañar por el señuelo de la capacidad de aumento, porque cuando se elige un telescopio para finalidades astronómicas, el aumento no es la característica más importante. Los espejos y los objetivos de buena calidad, montados con precisión, constituyen las principales cualidades de un telescopio. Los telescopios y los prismáticos baratos pueden resultar decepcionantes.

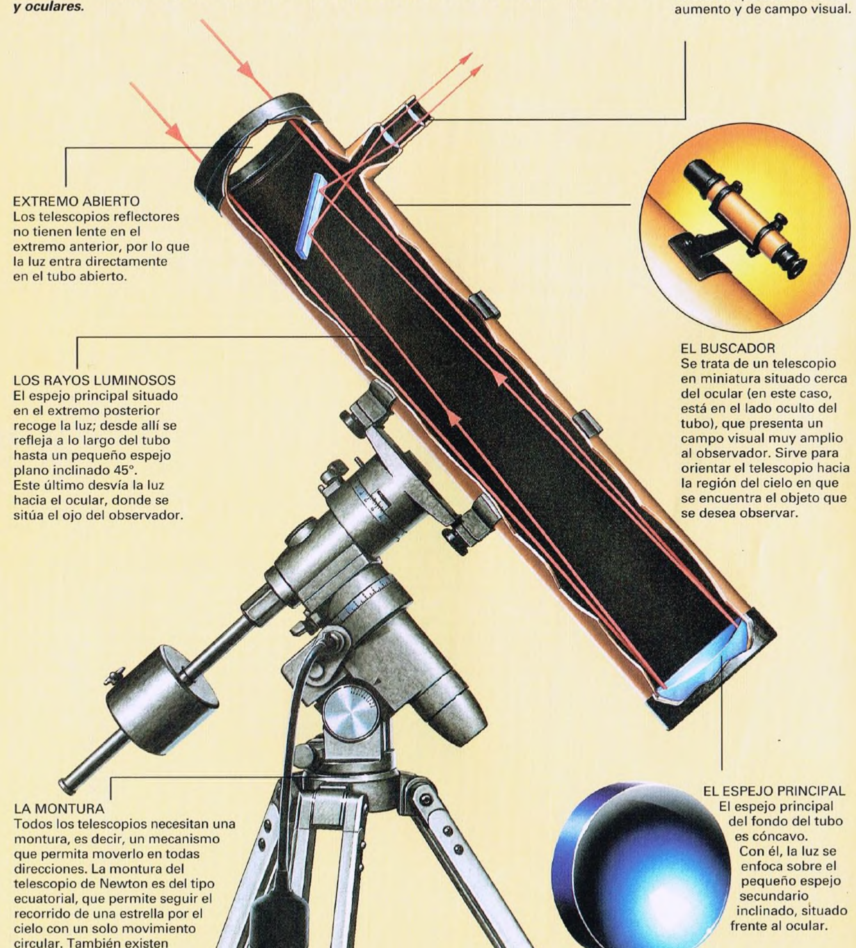
LA COMPRA DE UNOS PRISMÁTICOS

En las tiendas especializadas se encuentran prismáticos de las más variadas dimensiones y con una amplia gama de prestaciones; estos instrumentos se describen mediante dos números unidos por el signo gráfico de la multiplicación (×); el primero de ellos indica el aumento, mientras

Cuando se desea observar la Luna o los planetas y se quiere tener una buena visibilidad, hay que elegir un lugar alejado de las luces de los centros habitados y de los tejados de los edificios.

EL TELESCOPIO DE NEWTON

Este telescopio reflector toma el nombre de su primer constructor, Isaac Newton (1642-1727). Se trata de un excelente instrumento para el aficionado a la astronomía, porque es relativamente barato y de fácil empleo. Los telescopios refractores de dimensiones análogas proporcionan mejores imágenes, pero son mucho más caros y menos manejables. La mayor parte de los telescopios para aficionados son aparatos completos, con montura, buscador y oculares.



EL OCULAR
El ocular es un dispositivo óptico intercambiable. La mayor parte de los telescopios se suministran con un juego de dos o tres oculares, que permiten diferentes posibilidades de aumento y de campo visual.

EXTREMO ABIERTO
Los telescopios reflectores no tienen lente en el extremo anterior, por lo que la luz entra directamente en el tubo abierto.

LOS RAYOS LUMINOSOS
El espejo principal situado en el extremo posterior recoge la luz; desde allí se refleja a lo largo del tubo hasta un pequeño espejo plano inclinado 45°. Este último desvía la luz hacia el ocular, donde se sitúa el ojo del observador.

EL BUSCADOR
Se trata de un telescopio en miniatura situado cerca del ocular (en este caso, está en el lado oculto del tubo), que presenta un campo visual muy amplio al observador. Sirve para orientar el telescopio hacia la región del cielo en que se encuentra el objeto que se desea observar.

LA MONTURA
Todos los telescopios necesitan una montura, es decir, un mecanismo que permita moverlo en todas direcciones. La montura del telescopio de Newton es del tipo ecuatorial, que permite seguir el recorrido de una estrella por el cielo con un solo movimiento circular. También existen las monturas altacimutales, mucho más sencillas.

EL ESPEJO PRINCIPAL
El espejo principal del fondo del tubo es cóncavo. Con él, la luz se enfoca sobre el pequeño espejo secundario inclinado, situado frente al ocular.

que el segundo indica el diámetro de las lentes del objetivo en milímetros. Los prismáticos con dimensiones y características más adecuados para un uso astronómico general son: 8×40, 7×50 y 10×50. Probablemente, será necesario emplear algún tipo de soporte, porque es difícil mantener fijos unos prismáticos con las manos mientras se mira el cielo durante largo tiempo. Un trípode para máquina fotográfica puede ser una excelente solución, pero el usuario, si le gusta el bricolaje, podrá construir con facilidad un soporte adecuado a sus necesidades.

Si ya se poseen unos prismáticos, se podrá intentar utilizarlos para las observaciones astronómicas, independientemente de sus características. Si no se dispone de ningún soporte ni de un trípode, deberán apoyarse los brazos para mantener una posición fija. Harán falta algunos minutos para adaptar la vista, pero resultará fácil lograr ver, por ejemplo, los cráteres de la Luna. Con un poco más de práctica, se podrán seguir los movimientos de las cuatro lunas galileanas de Júpiter y, con la ayuda de una carta celeste, incluso será posible llegar a ver Urano.

¿QUÉ TELESCOPIO?

Existen dos tipos principales de telescopios: los refractores, o anteojos, que recogen la luz a través de una lente que, situada en la parte anterior del cuerpo (llamado tubo) del telescopio, hace la función de objetivo; y los reflectores, que recogen la luz mediante un espejo curvo, situado en la parte posterior del tubo. Los telescopios se describen siempre con las dimensiones de su objetivo o de su espejo; por ejemplo, un reflector de 300 mm tiene un espejo principal de este diámetro. En ambos tipos de telescopios, el ocular está separado del tubo y es intercambiable. Gracias a este accesorio, es posible variar el aumento y la amplitud del campo visual, según las necesidades del observador.

Los telescopios reflectores tienen un espejo secundario plano para dirigir la imagen hacia el ocular. Este espejo, más pequeño, obstruye parcialmente el principal, por lo que limita la superficie útil de recogida de luz. Esto significa que, a igualdad de dimensiones, los telescopios reflectores ofrecen unas imágenes de menor calidad que los telescopios refractores. Sin embargo, los telescopios refractores de buena calidad suelen ser mucho más caros y, en consecuencia, la mayor parte de los aficionados a la astronomía prefiere los reflectores.

Los refractores más pequeños, adecuados para la observación del cielo, tienen un diámetro de 50 a 75 mm; los reflectores más

LA OBSERVACIÓN DE JÚPITER

Observar Júpiter puede ser emocionante incluso con de unos prismáticos; sin embargo, con un pequeño telescopio se puede observar la Gran Mancha Roja. Como Júpiter completa una revolución sobre sí mismo en menos de 10 horas, los detalles de su superficie pasan rápidamente por el disco que aparece en el telescopio. Esta rotación produce un ensanchamiento en su ecuador causado por la fuerza centrífuga.



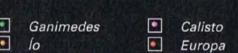
Júpiter fotografiado a través de un telescopio reflector de 50 cm.

EL BAILE DE LOS SATÉLITES GALILEANOS

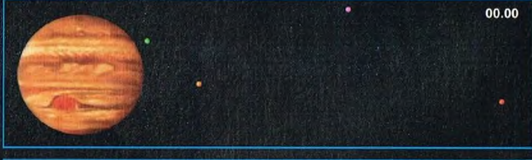
Las cuatro lunas más grandes de Júpiter son visibles tanto con unos prismáticos como con un pequeño telescopio. Para identificarlas se necesita una tabla astronómica. En las cuatro imágenes de abajo (ampliadas para mostrar mejor los detalles) se muestra cómo aparecían estos satélites en un período de cuatro horas de una noche de septiembre de 1987.



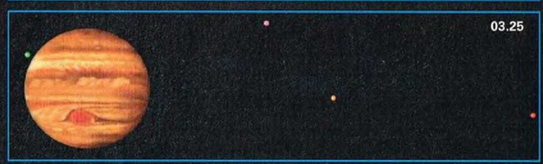
Júpiter fotografiado a través de un telescopio reflector de 25 cm.







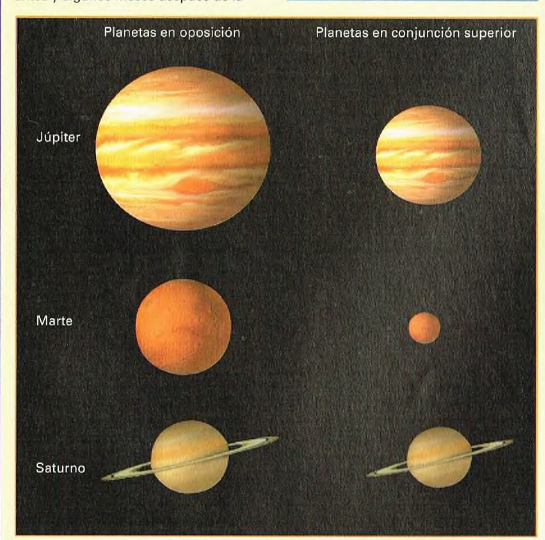




PLANETAS EN OPOSICIÓN

El mejor momento para observar los planetas exteriores (los más alejados del Sol) es cuando la Tierra se encuentra entre ellos y el Sol. Esta alineación se llama oposición. Durante la oposición, un planeta exterior está en uno de sus puntos de máxima proximidad a la Tierra y alcanza la máxima altura en el cielo de media noche.
El intervalo entre las oposiciones de un determinado planeta depende del tiempo que tarda en orbitar alrededor del Sol. Las oposiciones de Saturno, por ejemplo, se producen anualmente, pero con un retraso de pocos días cada año. En cambio, Júpiter presenta un intervalo del orden de 13 meses, mientras que las oposiciones de Marte están espaciadas por intervalos de más de dos años.
La época más conveniente para las observaciones es de uno a dos meses antes y algunos meses después de la fecha de oposición. La órbita de Marte es muy elíptica y, por lo tanto, el planeta se acerca mucho más a la Tierra en algunas oposiciones que en otras.
Las oposiciones más favorables de Marte se producen aproximadamente cada 15-17 años.

DATOS	FECHAS DE OPOSICIÓN
MARTE	17 marzo 1997 en Virgo
	24 abril 1999 en Virgo
JÚPITER	9 agosto 1997 en Capricornio
	10 octubre 1997 en Piscis
	16 septiembre 1998 en Acuario
	23 octubre 1999 en Piscis
	28 noviembre 2000 en Tauro
SATURNO	23 octubre 1998 en Piscis
	6 noviembre 1999 en Aries
	19 noviembre 2000 en Tauro



ÓRBITAS ALREDEDOR DEL SOL

Aparentemente, a la vista de un observador situado en la Tierra, el tamaño de los planetas varía durante su período de revolución alrededor del Sol. Los planetas exteriores parecen más grandes durante las oposiciones y más pequeños en las conjunciones superiores, es decir, cuando se encuentran al otro lado del Sol respecto a la Tierra. Aquí se pueden ver las dimensiones relativas, máximas y mínimas, de Júpiter, Marte y Saturno vistos desde la Tierra. Las imágenes son proporcionales, aunque están ampliadas para mayor claridad.

pequeños dignos de consideración tienen un diámetro de 110-150 mm. Con uno de estos telescopios no sólo se pueden ver muchos detalles de la superficie de la Luna, sino también las fases de Venus. Asimismo, se pueden observar los casquetes polares y algunas regiones de la superficie de Marte, la Gran Mancha Roja, las bandas de Júpiter y los anillos de Saturno.

A SIMPLE VISTA

Los planetas visibles a simple vista son cinco: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. El mejor momento para observar Mercurio y Venus es justo antes del alba o inmediatamente después del ocaso. Estos planetas se encuentran en el cielo siempre cerca del Sol, porque sus órbitas están más próximas a este último que la de la Tierra. Es conveniente evitar la observación de Mercurio y Venus mientras el Sol todavía es visible, porque si la mirada se dirigiese accidentalmente al Sol, la vista podría resultar dañada.

Mercurio es el planeta más difícil de identificar a simple vista, porque nunca se encuentra en un cielo totalmente oscuro, y está lo bastante lejos del Sol para que sólo pueda ser observado unos pocos días en el transcurso de su período orbital de 88 días. Los lugares desde los cuales mejor se puede observar Mercurio son los situsdos cerca del ecuador, porque la brevedad del crepúsculo hace que el planeta destaque sobre el cielo oscuro.

Venus es el planeta más fácil de identificar a simple vista, porque su densa atmósfera refleja la luz solar. Como Mercurio, Venus nunca se encuentra muy alejado del Sol y puede verse hacia oriente antes del alba o hacia occidente poco después del ocaso.

LOS PLANETAS EXTERIORES

Los planetas que están más alejados del Sol respecto a la posición de la Tierra se denominan planetas exteriores. Los mejores momentos para observarlos se presentan cuando se encuentran en oposición, lo cual sucede cuando la Tierra está exactamente entre ellos y el Sol. En estas condiciones, los planetas visibles a simple vista, o sea, Marte, Júpiter y Saturno, pueden identificarse fácilmente porque presentan una luminosidad viva, regular y estable, a diferencia de las estrellas.

Marte presenta un color rojizo. Cuando está en oposición, con un telescopio es posible observar sus blancos casquetes polares cubiertos de hielo. Generalmente sólo es visible uno de los dos casquetes, debido a la ligera inclinación del eje de rotación del planeta. Los casquetes polares se expanden o se contraen de acuerdo con la evolución de las estaciones marcianas.

Además, en su superficie pueden verse zonas permanentemente oscuras y zonas neblinosas. Es posible que se desencadenen inmensas tormentas de polvo que oscurecen regiones muy extensas de su superficie.

Júpiter se mueve lentamente en el cielo y, a menudo, es visible durante varios meses del año. Sus bandas oscuras y la Gran Mancha Roja pueden observarse incluso con un telescopio pequeño. Además, es posible identificar y seguir los movimientos de sus cuatro lunas más grandes, los satélites llamados galileanos.

Los colores de Saturno son mucho más tenues que los de Júpiter, y sus bandas sólo son visibles con telescopios más potentes.

A la derecha, los anillos de Saturno tal como aparecen desde la Tierra a lo largo de un período de aproximadamente 30 años. Su aspecto cambia porque están inclinados un ángulo de 29° respecto a la órbita del planeta.

LA OBSERVACIÓN DE VENUS

Debido a su órbita más interna respecto a la de la Tierra, Venus sólo puede observarse con facilidad cuando se encuentra a la máxima distancia del Sol. Esta situación se denomina elongación máxima. Durante las elongaciones orientales, Venus es visible al atardecer en el cielo occidental; en las elongaciones occidentales, aparece en el cielo oriental antes del alba. Es visible durante 8-10 semanas a ambos lados de máxima elongación, y puede identificarse fácilmente porque es el objeto más brillante del cielo nocturno (con la excepción de la Luna). Sin embargo, dado que está completamente envuelto por una espesa capa de nubes opacas, las características de su superficie no son visibles.
A continuación se indican las próximas fechas de máxima elongación de Venus:

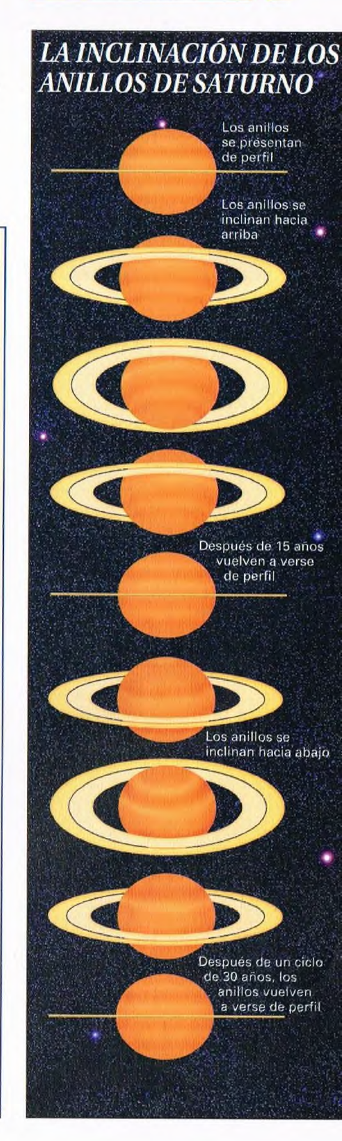
Oriental (visible al atardecer)	Occidental (visible al amanecer)
6 noviembre 1997	27 marzo 1998
11 junio 1999	30 octubre 1999

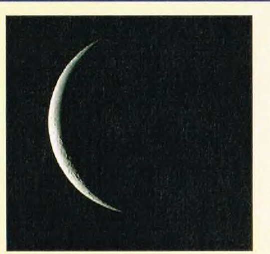


LAS FASES DE VENUS

Debido a su órbita más interna respecto a la de la Tierra, Venus presenta fases similares a las lunares. En el momento de su máxima luminosidad, se presenta como una hoz fina. En cambio, cuando se encuentra entre la Tierra y el Sol, sólo puede verse un débil halo de luz producido por su densa cubierta nubosa.

LA INCLINACIÓN DE LOS ANILLOS DE SATURNO





La Luna casi nueva muestra los cráteres que se forman en la línea de demarcación.

LA OBSERVACIÓN DE LA LUNA

La Luna es el objeto celeste más fácil de observar. Presenta siempre la misma cara orientada hacia la Tierra y, con un mapa lunar, se puede aprender su geografía. Las observaciones no deben efectuarse durante las fases de Luna llena, porque sus características se observan mejor a lo largo de terminador, la línea de demarcación entre la zona iluminada y la oscura. Con unos prismáticos se ven los cráteres más grandes y las manchas oscuras llamadas mares. Con un telescopio, se pueden ver unas líneas radiales blanquecinas alrededor de algunos cráteres, que ponen de manifiesto el material expulsado por impactos de meteoritos.



Durante la Luna llena son visibles los mares y los cráteres de mayores dimensiones.

Sin embargo, sus anillos se distinguen claramente con un telescopio pequeño. En el curso de un período de 14 o 15 años, la posición de los anillos en relación a nuestra visual varía. Cuando los anillos están de perfil respecto a nosotros, como en el año 1996, son prácticamente invisibles; en cambio, cuando se presentan inclinados, son perfectamente visibles y es posible ver incluso la división de Cassini, una separación entre los dos anillos más brillantes. Los anillos de Saturno serán visibles con toda su amplitud en el año 2003.

Urano puede observarse incluso con un telescopio pequeño o unos prismáticos, pero empleando una carta celeste actualizada para tener la seguridad de que se ha distinguido de las estrellas. Se trata de un objeto de sexta magnitud, demasiado débil para poder ser visto a simple vista. Desde 1996, este planeta se está desplazando lentamente desde la constelación de Sagitario hacia la de Capricornio. Con un poco de experiencia, un telescopio y una carta, también se podrá localizar Neptuno, un objeto de octava magnitud.
En cambio, Plutón, que presenta una luminosidad del orden de una estrella de decimocuarta magnitud, sólo puede ser identificado por los observadores más expertos, y con instrumentos potentes.

LA PREPARACIÓN DE LA VISTA

Cuando se empieza a observar los planetas a través de un telescopio, la identificación de los detalles puede resultar difícil, por lo menos hasta que los ojos del observador se hayan habituado perfectamente a la oscuridad; esto se consigue en unos 15-20 minutos.

La nitidez de las imágenes depende de la estabilidad del aire. Los astrónomos llaman a esta característica *seeing* (del inglés *to see* = ver). Si el *seeing* no es bueno, las imágenes oscilan, vibran y no es posible ver sus detalles. En cambio, si el *seeing* es bueno, las imágenes son estables y claras. El *seeing* puede cambiar rápidamente; en una sesión desfavorable, pueden producirse, por ejemplo, algunos momentos de visibilidad muy límpida.

Hay que recordar que el telescopio no se debe orientar hacia las zonas en que hay corrientes de aire caliente, como encima de los techos de las casas y sobre los caminos, porque producen movimientos del aire. El resplandor difuso de las luces de los centros habitados puede impedir la obtención de una buena visibilidad de los objetos que se encuentran bajos en el horizonte.

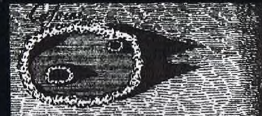
DIBUJAR LO QUE SE OBSERVA

Durante las primeras experiencias, resultará interesante la simple observación, pero más adelante ya no será suficiente, y el paso siguiente será trazar bocetos de lo que se



Si se instala el telescopio cada noche en el mismo lugar, se podrán localizar con más facilidad los planetas. Asimismo, los cambios de su aspecto y de su posición resultarán más evidentes.






Arriba (de izquierda a derecha), el cráter de Cassini de la Luna, en un boceto de 1791, muestra las sombras que se alargan en el transcurso de las fases.
A la izquierda, una imagen de Saturno, dibujada en 1995 por un astrónomo, muestra el planeta con sus anillos vistos de perfil.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

¿ARRIBA O ABAJO?
Los mapas y los dibujos de la Luna y de los planetas indican a menudo el Sur y el Norte, pero puede comprobarse fácilmente que esto no corresponde a lo que se ve.

CON UNOS PRISMÁTICOS
Si se utilizan unos prismáticos, la imagen que se ve estará posicionada correctamente. Esto significa que hay que orientar al revés el mapa lunar (que muestra el Sur hacia arriba), para obtener la misma imagen observada a través de los prismáticos.

CON UN TELESCOPIO
En cambio, si se utiliza un telescopio astronómico, se ve una imagen invertida. Éste es el motivo de que muchas cartas celestes estén impresas con el Sur orientado hacia arriba.

observa. No es necesario ser un artista de talento para dibujar las imágenes de lo que se ve a través de un telescopio y ni mucho menos se necesitan instrumentos especiales para registrar de esta manera las observaciones. El mejor método es proceder por tentativas; hay que continuar haciendo pruebas, recordando que la habilidad aumentará con la práctica.

UN PARQUE DE ATRACCIONES CÓSMICO

Casi todas las imágenes de los planetas que aparecen en libros y publicaciones especializadas (incluida ésta) se han obtenido gracias a exposiciones de larga duración efectuadas con potentes telescopios. Son tan nítidas y luminosas que, cuando se empiezan a observar los cuerpos celestes a través de un pequeño telescopio de aficionado, los resultados son un poco decepcionantes. Sin embargo, esta sensación se desvanece cuando se empiezan a observar y anotar con regularidad fenómenos tales como las variaciones del aspecto de los planetas.

A medida que se va adquiriendo más experiencia en las observaciones, se deseará compartir los descubrimientos con otros observadores. Las sociedades astronómicas publican, para los observadores aficionados, varios opúsculos en los que se comparan los bocetos y los datos de los planetas recogidos por diferentes personas. Por tanto, hay que iniciarse cuanto antes en la nueva carrera de observador: ¡el cielo nocturno es un verdadero parque de atracciones!

LAS ASOCIACIONES ASTRONÓMICAS IBEROAMERICANAS

Agrupación Astronómica de Gran Canaria (AAGC)
Apartado de Correos 4240
35080 Las Palmas de Gran Canaria
(España)
e-mail: aagc@cicei.ulpgc.es
internet:
http://cedis.dis.ulpgc.es:8086/AAGC/aagc.html

Agrupación Astronómica de Madrid
Apartado de Correos 1039
28080 Madrid (España)
e-mail: aam@encmos.simucm.es

Asociación Argentina de Amigos de la Astronomía
Patricias argentinas, 550
1405 Buenos Aires (Argentina)

Asociación Chilena de Astronomía y Astronáutica (ACHAYA)
Marcoleta, 485, 2° piso, dpto. H
Santiago de Chile (Chile)
internet:
http://macul.ciencias.uchile.cl./achaya

Asociación Colombiana de Estudios Astronómicos (ACDA)
A.A. 47731, Santa Fe de Bogotá. D.C.
(Colombia)

Asociación de Astrónomos Autodidactas de Colombia (ASASAC)
A.A. 30973, Santa Fe de Bogotá, D.C.
(Colombia)

Sociedad Astronómica de España y América (SADEYA)
Avda. Diagonal, 377, 2
08008 Barcelona
(España)
e-mail: amengual@sadeya.cesca.es
e-mail: torres@sadeya.cesca.es
internet: http://www.sadeya.cesca.es

Sociedad Astronómica de México, A.C.
Parque Felipe S. Xicoténcatl
Col: Álamos, México D.F. 03480
(México)
Apartado Postal M-9647
e-mail: scalderon@spin.com.mx
internet: http://www.spin.com.mx/sam/

Sociedade Astronomica Brasileira
Av. Miguel Stéfano, 4200
CEP: 04301-904
Sao Paulo
(Brasil)
e-mail: sab@orion.iagusp.usp.br
internet:
http://astro1.iagusp.usp.br/Personal/SAB

Sociedade Astronomica Macanhense de Amadores
Rua Armateia Cisne, 234
Apeadouro
Sao Luis (Brasil)
CEP: 65000-000
internet:
http://www.inf.guc-rio.br/~portela/sama01.html

GRANDES ESFERAS DE FUEGO

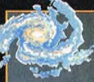
Las estrellas son inmensos globos de gases incandescentes alimentados por las reacciones de fusión nuclear que se producen en su núcleo.



En una noche limpia y oscura, la cantidad de estrellas visibles parece infinita, pero el número efectivo de las que pueden observarse a simple vista es de unas 3.000. Muchas de ellas son difíciles de identificar debido a la interferencia producida por las luces de las carreteras y las casas, que ocultan las estrellas más débiles. Sin embargo, la observación del cielo nocturno permite ver estrellas de todas las edades y dimensiones.

¿ESTRELLA O PLANETA?

No todos los objetos que brillan en el cielo nocturno son estrellas. Los planetas también lucen en el cielo como estrellas y pueden confundirse con ellas. Sin embargo, la luz de los planetas es más fija y estable que la de las estrellas, que es parpadeante. Esto se debe a que los planetas, que están relativamente próximos a la Tierra, aparecen como pequeños discos incluso con un telescopio pequeño, mientras que las



LOS COLORES DE LAS ESTRELLAS

Los colores de las estrellas están determinados por su temperatura: las estrellas más calientes presentan temperaturas en su superficie comprendidas entre 20.000 °C y 40.000 °C, y aparecen con un color azul o blanco. Las estrellas como el Sol, con una temperatura en su superficie de unos 6.000 °C, aparecen amarillas. Las estrellas más frías, con temperaturas en su superficie comprendidas entre 2.000 °C y 4.000 °C, son de color rojo. Muchas de las estrellas más luminosas son rojas o anaranjadas. Cabe, entonces, preguntarse cómo una estrella fría puede aparecer más luminosa que una estrella blanca, mucho más caliente. Esto se debe a las diferentes dimensiones de las estrellas: una gigante roja tiene una superficie muy grande e irradia mucha más energía que una estrella pequeña.

GIGANTE ROJA
Una estrella gigante roja está cerca del final de su existencia. Las gigantes y las supergigantes rojas tienen unas dimensiones enormes: entre 100 y 1.000 veces las del Sol

GIGANTE AZUL
Las gigantes azules son estrellas relativamente jóvenes y presentan unas dimensiones comprendidas entre 10 y 100 veces las del Sol

ENANAS, GIGANTES Y SUPERGIGANTES

Las estrellas se diferencian entre sí por su luminosidad, color y dimensiones. En este dibujo se compara el tamaño del Sol con el de una estrella gigante roja y de una gigante azul. Las estrellas supergigantes son todavía más grandes. Las dimensiones dependen de las diferentes etapas de la evolución de una estrella.

EL SOL
El Sol está en la etapa intermedia de su existencia y, dentro de unos 4.500 millones de años, se expandirá, transformándose en una gigante roja

estrellas son puntiformes, incluso con telescopios más potentes. Además, algunos planetas, como Venus y Júpiter, son más brillantes que cualquier estrella, por lo que son fácilmente identificables.

Una estrella es un objeto muy diferente a un planeta: una estrella brilla con luz propia, mientras que un planeta brilla porque refleja la luz del Sol.

CENTROS DE ENERGÍA

Una estrella es una esfera masiva de gases muy calientes, constituida principalmente por hidrógeno y helio, pero con otros muchos elementos en forma de trazas. La fuente de energía de las estrellas se encuentra en su núcleo, en el que, a temperaturas de más de 10 millones de grados, cuatro núcleos de hidrógeno se funden y producen helio. Durante esta reacción de fusión nuclear se libera una enorme cantidad de energía. En el caso del Sol, la fusión convierte en energía 4,5 millones de toneladas de materia cada segundo.

CAPAS DE GASES

Una estrella como el Sol está constituida por un núcleo que produce energía, rodeado de densas capas de gases. El calor producido por el núcleo se difunde lentamente hacia la superficie de la estrella, con diferentes mecanismos de conducción entre las capas internas y las externas.

Una estrella puede mantenerse estable durante miles de millones de años, pero ninguna es eterna. El hidrógeno, el combustible para la fusión nuclear, se agota más tarde o más temprano. Según la masa de la estrella, esto puede suceder en un millón o varios miles de millones de años. Por ejemplo, el Sol brilla desde hace unos 4.500 millones de años y, dado que se encuentra en la fase intermedia de su vida, deberán transcurrir al menos otros 4.500 millones de años antes de que se apague.

UN DELICADO EQUILIBRIO

En el transcurso de la mayor parte de su vida, una estrella se mantiene estable gracias a dos fuerzas que se equilibran entre sí: la fuerza de la gravedad, que tiende a comprimir la estrella bajo su propio peso; y la

A la derecha, una estrella perteneciente a la secuencia principal permanece estable porque la fuerza de la gravedad queda equilibrada por la presión de los gases. Sin este equilibrio, la estrella no podría existir.

Fuerza de la gravedad: dirigida hacia el interior

Fuerza debida a las reacciones nucleares: dirigida hacia el exterior

VIDA Y MUERTE DE UNA ESTRELLA

En el dibujo se muestran dos ciclos diferentes de la vida de una estrella. Arriba se ve la evolución de una estrella diez veces más masiva que el Sol. En este caso, el astro consume todo el combustible de hidrógeno y termina su existencia con una gigantesca explosión llamada supernova. El ciclo de abajo describe la evolución, bastante más larga, de una estrella como el Sol. Cuando el hidrógeno del núcleo se agota, la estrella se expande y se transforma en una gigante roja, que termina su vida expulsando las capas gaseosas más exteriores.

Explosión de una supernova

Supergigante roja

La estrella se expande rápidamente cuando se agota su hidrógeno

CICLO VITAL DE UNA ESTRELLA DE GRAN MASA

La estrella evoluciona

Protoestrella

Nebulosa

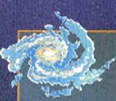
Protoestrella

Gigante roja

La estrella evoluciona

CICLO VITAL DE UNA ESTRELLA COMO EL SOL

La estrella se expande cuando se agota su hidrógeno



SUPERESTRELLAS

• Estrella de Plaskett
Se encuentra en la constelación del Unicornio y es una estrella doble constituida por otras dos, cada una con una masa 50 veces mayor que la del Sol.



• S *Doradus*
Es una estrella un millón de veces más luminosa que el Sol. Pertenece a la Gran Nube de Magallanes, una galaxia satélite de la Vía Láctea.

• Antares
Es una supergigante roja típica, que se encuentra a 500 años luz de la Tierra, en la constelación de Escorpión. Tiene un diámetro de unos 1.000 millones de km y una masa 10 veces mayor que la del Sol.

A la izquierda, Antares, una estrella supergigante roja.

energía liberada por las reacciones nucleares que se producen en el núcleo y que crean una inmensa fuerza dirigida hacia el exterior.

EL CICLO VITAL

Si bien las estrellas difieren en color, luminosidad y dimensiones, todas tienen un ciclo vital definido: se forman, se desarrollan y luego mueren. El Sol y muchas otras estrellas cercanas se encuentran actualmente en la larga y estable fase de la evolución, caracterizada por la fusión nuclear que se produce en sus núcleos. Los astrónomos llaman a estos astros estrellas de la secuencia principal.

El ciclo vital de una estrella empieza con el nacimiento de una protoestrella en el seno de una nebulosa. El modo en que a continuación se desarrolla y concluye su existencia difiere según se trate de estrellas de poca masa, como el Sol, o de gran masa.

LAS ESTRELLAS SIMILARES AL SOL

Una estrella como el Sol quema el hidrógeno de su núcleo durante miles de millones de años, pero, una

A la derecha, el telescopio espacial Hubble tomó esta imagen, posteriormente coloreada, de los restos de la supernova SN1987A. En el centro hay una estrella de neutrones rodeada de un anillo brillante de materia expulsada. Se cree que los anillos más grandes son esferas de gas que rodean la supernova.





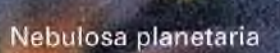
Agujero negro



Estrella de neutrones: puede tener un diámetro de sólo 10 km

AGUJERO NEGRO Y ESTRELLA DE NEUTRONES
Se forman cuando una estrella masiva explosiona como supernova. El núcleo sobrevive en forma de una pequeñísima estrella de neutrones o de un agujero negro

Enana blanca: tiene las dimensiones de un planeta.



Nebulosa planetaria

ENANA BLANCA Y NEBULOSA PLANETARIA
Después de su expansión hasta gigante roja, la estrella expulsa las capas exteriores de gases, dejando que el núcleo se transforme en una enana blanca. La nebulosa planetaria, o sea, las capas gaseosas expulsadas, se convierte en materia de base para la siguiente generación de estrellas

vez agotado, el equilibrio entre las fuerzas que la mantienen estable se altera y empieza la fase final del ciclo. La estrella termina su existencia, primero, expandiéndose (fase de gigante roja) y librándose de las capas externas de gases y, luego, contrayéndose hasta quedar como un astro de un tamaño similar al de la Tierra, que recibe el nombre de enana blanca. Esta estrella en vías de extinción es extremadamente densa (hasta el punto de que una cantidad de su materia del tamaño de un pequeño guijarro puesto sobre la Tierra pesaría varias toneladas) y tiende a apagarse lenta y tranquilamente en el transcurso del tiempo. Las capas externas expulsadas forman una envoltura esférica de gases, conocida con el nombre de nebulosa planetaria y llamada así porque se asemeja al disco de los planetas cuando se observan a través de un telescopio pequeño.

LAS ESTRELLAS MASIVAS

Las estrellas más masivas que el Sol se caracterizan por una existencia que, en cierto modo, es mucho más espectacular. Emplean mucho menos tiempo en completar su ciclo y terminan su vida de manera más violenta. Una vez agotado el hidrógeno de su núcleo, generan otras reacciones nucleares de breve duración que forman elementos más pesados que el helio. Más adelante, cuando también se han agotado estas reacciones y la estrella se ha convertido en una supergigante, el núcleo se colapsa. Las capas externas se liberan con una explosión, llamada supernova. En esta fase, y durante un breve tiempo, la estrella se hace muy luminosa y es visible incluso a grandes distancias.

UN COLAPSO VIOLENTO

De la explosión de una supernova puede formarse una estrella de neutrones o un agujero negro. La primera es un objeto muy pequeño, de un diámetro de pocos kilómetros. La densidad de una estrella de neutrones tiene tal magnitud que si se pudiese recoger una cucharada de la materia que la constituye, pesaría más de 10 millones de toneladas en la Tierra. Si la estrella originaria es todavía más grande, el núcleo se colapsa con una fuerza tal que, en lugar de una estrella de neutrones, se forma un agujero negro. En el interior de éste, la fuerza de la gravedad es tan enorme que ni siquiera la luz puede escapar.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

FOTOGRAFÍAR EN COLOR LAS ESTRELLAS

Los colores de las estrellas se pueden observar mediante sencillos procedimientos de fotografía astronómica. La astrofotografía, una fascinante rama de la astronomía aplicada, requiere el empleo de una máquina fotográfica reflex dotada de objetivos intercambiables.

ASTROFOTOGRAFÍA

La máquina, con un objetivo de 50 mm, debe ir montada de manera segura en un trípode y accionarse con un obturador de cable para evitar la más mínima vibración.
La fotografía astronómica requiere el uso de películas extremadamente sensibles. Es conveniente cargar la máquina con una película para diapositivas de 400 a 1.000 ISO (cuanto mayor es el número ISO, tanto más elevada es la sensibilidad de la película). Además, debe utilizarse un tiempo de exposición del orden de 20 segundos, con el selector de velocidades situado en la posición B (para exposiciones largas). Enfocar la máquina directamente al cielo y disparar. Una vez revelada la diapositiva, utilizar un proyector y una pantalla para observar los colores de las estrellas.

ESCORPIÓN

Escorpión, uno de los doce signos del zodíaco, contiene la luminosa Antares, el sistema cuádruple Jabbah, y numerosos y densos cúmulos estelares.



Antares, o Alfa* Scorpii*, una supergigante roja, es la estrella más brillante de la constelación. A occidente de Antares se puede ver M4.



La constelación de Escorpión es la más bella de las que ofrece el cielo veraniego. El mito ligado a esta constelación remite al de Orión: fue un escorpión el que mató al cazador mitológico.

Los límites modernos de la constelación de Escorpión son más restringidos que los de la Antigüedad: mientras que en otra época el Sol recorría Escorpión aproximadamente en un mes, según la actual distribución la atraviesa en sólo siete días.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Un procedimiento para localizar Escorpión consiste en prolongar la cola de la Osa Mayor hacia el sur, girando ligeramente hacia el oeste, hasta encontrar dos arcos formados cada uno de ellos por tres estrellas brillantes. Uno de estos arcos está dispuesto en dirección norte-sur, mientras que el otro tiene una luminosa estrella roja en su centro.

LAS ESTRELLAS PRINCIPALES

La estrella más brillante de la constelación, es decir, Alfa (de magnitud 1), es Antares, el rival de Marte (*Ares* en griego), llamada así a causa de su color rojo, como el del planeta. Es la estrella del centro de uno de los dos arcos estelares utilizados para encontrar Escorpión y constituye su centro.

Antares es una estrella doble resoluble (es decir, separable) con un telescopio de 8 cm de apertura como mínimo. El contraste de color entre las dos componentes es notable: la principal es roja, mientras que la secundaria brilla con una luz azulada.

Las dos brillantes próximas a Antares son: Alniyat (Sigma *Scorpii*, magnitud 2,9) en occidente, y Tau *Scorpii* (magnitud 2,8), al sudeste.

Las tres estrellas situadas al noroeste, a lo largo de la otra línea arqueada, son, de norte a sur: Graffias (Beta *Scorpii*, magnitud 2,6), que en realidad es un complejo sistema de estrellas, de las cuales dos son resolubles con un telescopio pequeño; Dschubba (Delta *Scorpii*, magnitud 2,3); y Pi *Scorpii* (magnitud 2,9).

También Jabbah (Nu *Scorpii*), cerca de Beta, es un sistema múltiple de gran interés: un pequeño telescopio lo resuelve en dos componentes de magnitud 4,2 y 6,3, mientras que un telescopio de al menos 15 cm de apertura muestra que también éstas están formadas, a su vez, por dos pares de estrellas.

OBJETOS NOTABLES

Escorpión está atravesado en gran parte por la Vía Láctea y está cerca del centro galáctico, situado en el vecino Sagitario, por lo que tiene objetos interesantes.

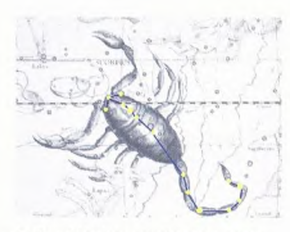
Se puede empezar la observación de algunos de ellos partiendo de M4, un cúmulo globular cercano a Antares. Es uno de los que se encuentra más cerca de nosotros, aunque no es uno de los más espectaculares. M6 y M7 son dos cúmulos abiertos situados cerca de la cola venenosa del Escorpión; el segundo de ellos es visible a simple vista, mientras que el primero requiere el empleo de, al menos, unos prismáticos. M80 es otro cúmulo globular situado entre Alniyat y Graffias.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

ESCORPIÓN

El Escorpión fue enviado por Diana, diosa de la caza, contra Orión, que osó declararse más hábil que ella en la actividad venatoria. Orión intentó defenderse del pequeño animal con su arco y su flecha, pero esta última rebotó contra la coraza. Así, el Escorpión le picó y lo mató. Los dioses convirtieron a Orión y al Escorpión en constelaciones, pero colocándolos en posiciones opuestas en la bóveda celeste, para que no volviesen a dañarse. Según otra leyenda fue Gea, madre de Orión y protectora de la naturaleza, quien envió al Escorpión contra el hijo cazador, por los estragos que éste causaba a toda clase de animales.

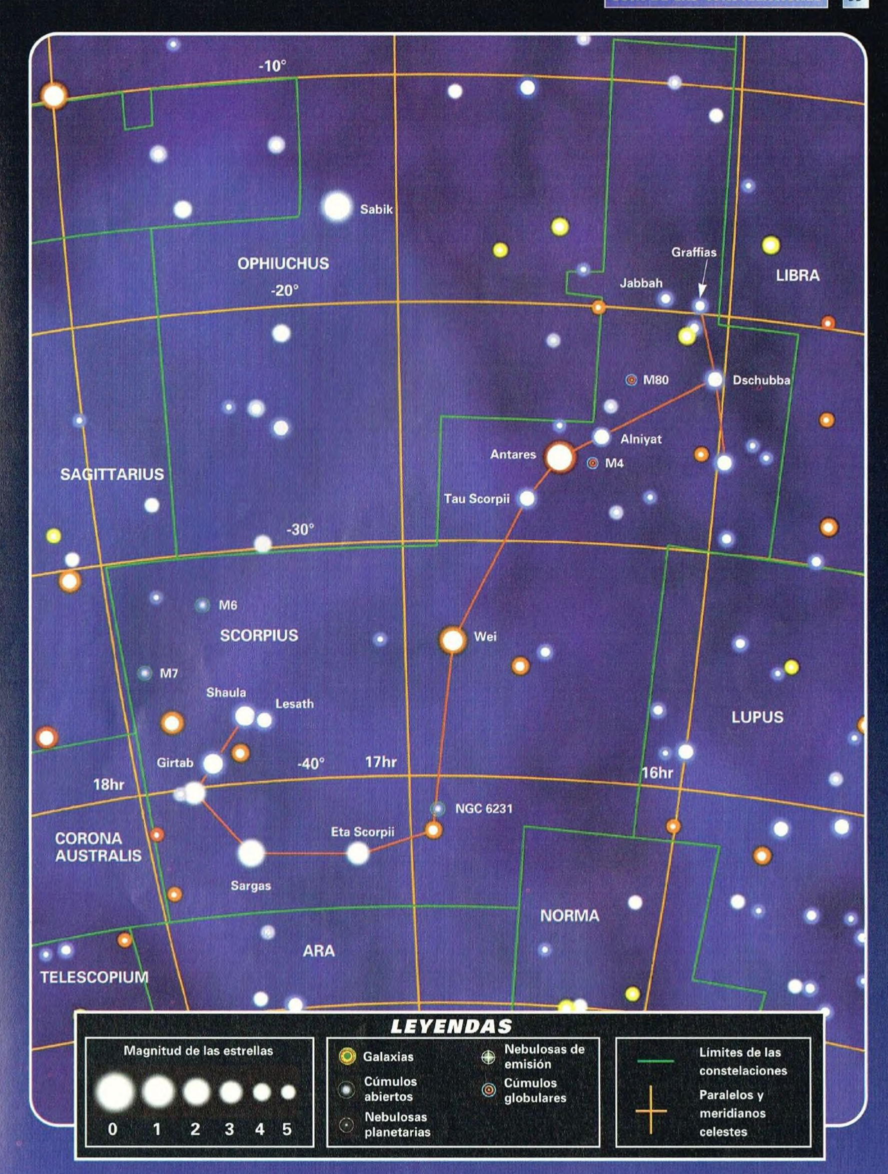


La disposición de las estrellas que componen la constelación recuerda la cola, el cuerpo y la cabeza de un escorpión. En cambio, las pinzas ya fueron «separadas» del animal por los astrónomos latinos, que las identificaban con otra constelación, Libra.

DÓNDE BUSCARLA

ESCORPIÓN

La constelación de Escorpión abarca una región del cielo comprendida entre 45° S y 8° S de declinación, y entre 15 horas 45 minutos y 17 horas 55 minutos de ascensión recta. Es íntegramente visible todo el año desde latitudes al sur de 82° S y parte del año desde la zona situada entre 62° S y 45° N. Escorpión nunca es íntegramente visible desde latitudes superiores a los 45° N. Desde latitudes como la de España, la constelación pasa por el meridiano hacia medianoche a finales del mes de mayo, pero su presencia sobre el horizonte dura poquísimas horas.


-10°
Sabik
OPHIUCHUS
-20°
Graffias
Jabbah
LIBRA
M80
Dschubba
Alniyat
Antares
M4
SAGITTARIUS
Tau Scorpii
-30°
M6
SCORPIUS
Wei
M7
Shaula
Lesath
LUPUS
Girtab
-40°
17hr
16hr
18hr
NGC 6231
Eta Scorpii
CORONA AUSTRALIS
Sargas
NORMA
ARA
TELESCOPIUM
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Cúmulos abiertos
Nebulosas planetarias
Nebulosas de emisión
Cúmulos globulares
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

CITA EN EL ESPACIO

Veinte años después del primer encuentro en el espacio entre astronautas estadounidenses y rusos, el transbordador Atlantis y la estación espacial Mir se acoplaron en órbita, abriendo así el camino a una nueva era de cooperación entre los históricos rivales.



El 29 de junio de 1995, el astronauta estadounidense Robert Hoot Gibson atravesó el portillo que comunicaba el transbordador espacial Atlantis con la estación espacial Mir. El cosmonauta ruso Vladimir Dezhurov, preparado para estrechar la mano extendida de Gibson, dijo en ruso: «Adelante, bienvenido. Entra, por favor».

EL PRIMER APRETÓN DE MANOS

Alexei Leonov, el primer hombre que paseó por el espacio, y Thomas Stafford (a la izquierda) se estrecharon la mano durante la misión Apolo-Soyuz Test Project de 1975. El presidente de Estados Unidos, Nixon, y el presidente soviético, Kosiguin, habían proyectado esta misión como símbolo del inicio de una colaboración entre las dos potencias. Las cápsulas Apolo y Soyuz fueron lanzadas el 15 de julio de 1975 y se dirigieron al punto de encuentro para el acoplamiento, que se produjo el 17 de julio. Las tripulaciones efectuaron experimentos conjuntamente durante dos días, en el transcurso de los cuales los dos vehículos se mantuvieron acoplados.



Habían transcurrido casi 20 años desde que astronautas estadounidenses y cosmonautas rusos se estrecharan la mano en el espacio por primera vez. Aquel histórico apretón de manos tuvo lugar el 17 de julio de 1975 a bordo del ASTP (Apolo-Soyuz Test Project, proyecto experimental Apolo-Soyuz). Los responsables de la empresa espacial esperaban que la misión abriese el camino a una cooperación más estrecha entre las dos principales potencias espaciales, pero no sucedió así, al menos hasta 1993, cuando los gobiernos de los dos países elaboraron un proyecto para una operación conjunta entre Estados Unidos y Rusia.

LOS PREPARATIVOS DEL ENCUENTRO

El 16 de marzo de 1995, el norteamericano Norman Thagard y los rusos Vladimir Dezhurov y Gennadi Strekalov se elevaron a bordo de la Mir, en cuyo interior deberían trabajar hasta el acoplamiento entre el Atlantis y la Mir, previsto para junio. En el momento del acoplamiento con el Atlantis, Thagard había estado en órbita durante 106 días, la permanencia más larga de un astronauta estadounidense en el espacio.

DESPEGUE VERTICAL

La NASA anunció que el despegue del Atlantis tendría lugar el 23 de junio, con una ventana de lanzamiento de sólo siete minutos, lo que significaba que el transbordador debía lanzarse precisamente dentro de estos siete minutos con el fin de entrar en la ruta idónea para poder llegar a la Mir. A bordo de la Mir, la tripulación proseguía los ejercicios de preparación para





Un astronauta a bordo del Atlantis tomó esta fotografía de la estación orbital espacial Mir, durante su aproximación a la misma, el 29 de junio. Las maniobras de acoplamiento se efectuaron mientras los dos vehículos espaciales estaban viajando a una velocidad de 7,5 km por segundo.

Abajo, cada misión del transbordador tiene un número y un emblema. Éste, que distingue la misión STS-71, muestra las órbitas del Atlantis y de la estación Mir cruzándose sobre la Tierra. Alrededor de la insignia están impresos, en inglés y en ruso, los nombres de los miembros de la tripulación, la más numerosa que jamás haya tomado parte en una sola misión.

su reentrada en la gravedad terrestre.

Desafortunadamente, las malas condiciones meteorológicas obligaron a retrasar el lanzamiento hasta el 27 de junio. Esta misión del transbordador marcó otro hito en la historia de la exploración espacial estadounidense, porque constituyó el centésimo lanzamiento de un transbordador espacial con tripulación a bordo. El segundo día de la misión, el transbordador empezó a reducir gradualmente la distancia entre los dos vehículos espaciales y, el tercer día, la tripulación del Atlantis pudo avistar la Mir. El comandante del transbordador Robert Hoot Gibson y el piloto Charles Precourt iniciaron la maniobra para el acoplamiento; habría bastado una falsa maniobra para que los dos vehículos espaciales, con una masa total de 220 t, se precipitasen uno contra otro, con los consiguientes efectos desastrosos.

Gibson efectuó una aproximación perfecta gracias al empleo de telecámaras y de señales montadas en el dispositivo de acoplamiento para alinearse con el portillo de la Mir. Poco después, el sistema de acoplamiento se activó y dejó firmemente conectados el Atlantis y la Mir. «Los hemos acoplado», anunció Gibson al centro de control norteamericano de la misión, que seguía la maniobra desde Houston. «Confirmado», comunicó por radio Dezhurov al centro de control ruso de Kaliningrad.

Una vez unidos, el Atlantis y la Mir formaron el mayor conjunto orbital de la historia del espacio, con la tripulación a bordo más numerosa de la historia, compuesta por 10 personas entre hombres y mujeres.

Arriba, el Atlantis fotografiado desde la Mir mientras efectuaba la aproximación final. Los dos vehículos están en órbita sobre la República de Uzbekistán y el lago Aral. En la bodega de carga del Atlantis es visible el Spacelab, el módulo para los experimentos científicos. Una cámara lo pone en comunicación con el sistema de acoplamiento de tres vías que une el Spacelab con la cabina de la tripulación y con el mecanismo de acoplamiento para el paso a la Mir.

UN ENCUENTRO HISTÓRICO

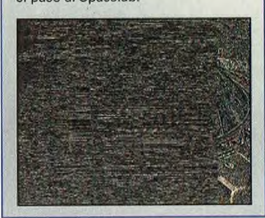
Dos horas después del acoplamiento, y una vez comprobada la cámara de compensación del sistema de acoplamiento en órbita (ODS) para prevenir eventuales pérdidas, Gibson abrió el portillo que



El mecanismo de acoplamiento de la estación Mir y del Atlantis, dotado de una cámara de compensación propia, constituía la vía de acceso entre los dos vehículos espaciales. El comandante ruso Vladimir Dezhurov (con la chaqueta azul) estrecha la mano del comandante estadounidense Robert Gibson.

UN NUEVO SISTEMA DE ACOPLAMIENTO

Los transbordadores espaciales no se habían diseñado para operaciones de acoplamiento y necesitaron una modificación para poder efectuar el acoplamiento de la Mir. Los diseñadores del transbordador y los ingenieros espaciales rusos colaboraron para producir un sistema de acoplamiento orbital (ODS), con un coste de 95 millones de dólares. El ODS (4,6 m de anchura, 2 m de longitud, 4 m de altura y un peso de 1,5 t) se instaló en la bodega de carga del transbordador. Está dotado de tres aberturas independientes, similares a una junta hidráulica de tres vías. En su parte superior se encuentra el mecanismo de acoplamiento que lo sujeta al portillo de la Mir. Una segunda abertura lo conecta al puente central del transbordador y permite el paso a la cabina de la tripulación, mientras que la tercera permite el paso al Spacelab.





Arriba, el cosmonauta Gennadi Strekalov durante uno de los cinco paseos espaciales que la tripulación de la Mir tuvo que efectuar con el fin de preparar la estación espacial para el acoplamiento del Atlantis. Los módulos de la Mir debían posicionarse de manera que permitiesen el acoplamiento del transbordador.

comunicaba con la Mir. Después del apretón de manos de bienvenida de Dezhurov, los otros seis miembros de la tripulación del Atlantis atravesaron el portillo y se dirigieron al módulo principal de la Mir, que contenía el habitáculo. Luego, apretujados en una cabina diseñada solamente para tres o cuatro personas, las dos tripulaciones confraternizaron. Dezhurov y Strekalov cedieron el control de la Mir a los dos cosmonautas recién llegados del Atlantis, Anatoli Soloviev y Nicolai Budarin, y luego pasaron al habitáculo del transbordador junto con Norman Thagard.

Al día siguiente, los diez miembros de la tripulación conjunta Atlantis/Mir se reunieron para intercambiar regalos: los estadounidenses regalaron flores y fruta, y los rusos, según la tradición, pan y sal.

DE NUEVO AL TRABAJO

Finalizados los saludos, los astronautas regresaron a su misión, utilizando los equipos del Spacelab (el laboratorio espacial) a bordo del transbordador, conectado a la Mir también a través del sistema de acoplamiento ODS. Durante los cuatro días siguientes se efectuaron una serie de pruebas biomédicas y experimentos para estudiar los efectos de la ingravidez sobre el cuerpo humano.

Los protagonistas de estos experimentos fueron los antiguos miembros de la



Arriba, fotografía de los diez miembros de las dos tripulaciones. En sentido horario, y a partir de Anatoli Soloviev (abajo, con la camiseta púrpura): Gregory Harbaugh, Robert Gibson, Charles Procourt, Nicolai Budarin, Hellen Baker, Bonnie Dunbar, Norman Thagard, Gennadi Strekalov (en un ángulo) y Vladimir Dezhurov. En el Spacelab del Atlantis (abajo), se realizaron experimentos con dos miembros de la tripulación de la Mir que permanecieron en el espacio durante casi cuatro meses: Dezhurov (en el centro), con la bicicleta ergonométrica, y Thagard (a la derecha).

tripulación de la Mir, Dezhorov, Strekalov y Thagard, que habían permanecido tres meses y medio en órbita. Las responsables de los experimentos médicos eran las doctoras Bonnie Dunbar y Hellen Baker.

Además, las tripulaciones transferían dispositivos científicos y repuestos del Atlantis a la Mir. Al mismo tiempo, se transportaban de la Mir al Atlantis aparatos científicos y muestras biomédicas.

LA DESPEDIDA

La misión concluyó el 3 de julio, cuando la tripulación de ocho miembros del Atlantis se embarcó en el transbordador y dejó solos a Soloviev y Budarin en la Mir. Después se cerraron los portillos del sistema de acoplamiento de la Mir y del ODS, que se despresurizó.

Al día siguiente, los dos cosmonautas de la Mir embarcaron en su cápsula Soyuz y se situaron cerca del complejo estación espacial-transbordador para observar el desacoplamiento del Atlantis. Gibson liberó el sistema de acoplamiento y unos resortes separaron suavemente los dos vehículos.

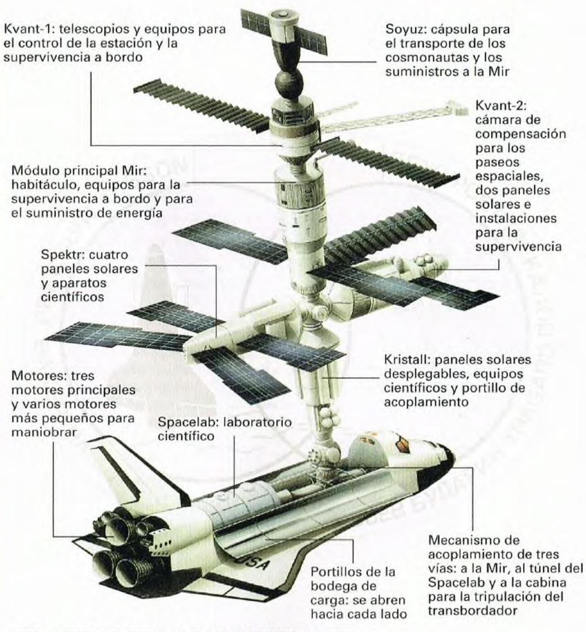
La ambiciosa misión conjunta fue un éxito completo y abrió el camino al proyecto conjunto entre Rusia, Estados Unidos, Europa, Japón y Canadá para el inicio de la construcción de la estación espacial Alpha.

DATOS

MISIÓN MIR/ATLANTIS

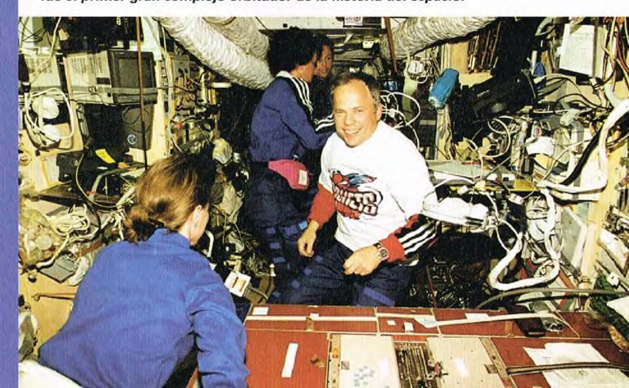
1er día: 27 de junio 1995. Lanzamiento del Atlantis, 15.32, hora local de la Costa Este de Estados Unidos (EDT)
2º día: activación del Spacelab; controles para el acoplamiento
3er día: acoplamiento con la Mir, 9 horas EDT del 29 de junio; ceremonia de bienvenida
4º día: intercambio de regalos; experimentos conjuntos
5º día: experimentos conjuntos
6º día: experimentos conjuntos
7º día: experimentos conjuntos; reunión final; ceremonia de despedida
8º día: desacoplamiento del Atlantis, 7.10 horas EDT del 4 de julio; órbita de reentrada
9º día: controles en el Spacelab
10º día: preparación del aterrizaje
11º día: el Atlantis aterriza en el Centro Espacial Kennedy, 10.54 horas EDT del 7 de julio

A la derecha, el habitáculo principal de la Mir, inspeccionado por los recién llegados del Atlantis: los astronautas Dunbar, Baker y Harbaugh, y por el cosmonauta Soloviev (centro).



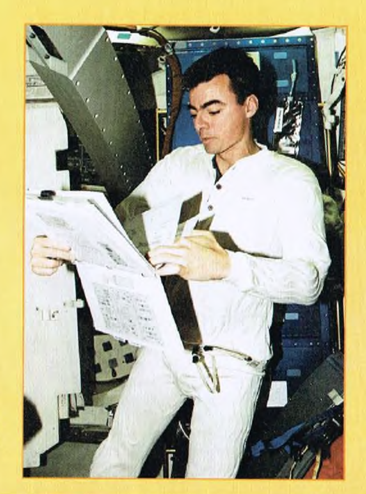
EL ATLANTIS SE CONVIERTE EN UN NUEVO MÓDULO DE LA MIR

La Mir está constituida por módulos independientes. Cuando el módulo Spektr fue lanzado en mayo de 1995, la tripulación tuvo que desplazar el Kristall para permitir su acoplamiento. El portillo de acoplamiento del Kristall se acopló con el Atlantis. Los dos vehículos permanecieron ensamblados durante cinco días: fue el primer gran complejo orbitador de la historia del espacio.



LA TECNOLOGÍA DEL ESPACIO

La investigación espacial no sólo ha aumentado nuestro conocimiento del universo, sino que también ha permitido la producción de muchos objetos de uso cotidiano, cuya existencia consideramos natural, pero que provienen de la tecnología avanzada de las empresas espaciales.



El astronauta Andrew M. Allen, piloto del Columbia, viste una indumentaria de regulación térmica, que luego se ha empleado para aliviar las molestias de los enfermos de esclerosis múltiple.



Cualquier misión espacial requiere la aplicación de una gran cantidad de modernos conocimientos tecnológicos y esto permite que, en poco tiempo, las nuevas tecnologías se apliquen a sectores totalmente ajenos a la investigación espacial. Una vasta gama de productos diversos, como las combinaciones refrigerantes para aliviar los síntomas de la esclerosis múltiple, o los equipos contra incendios, son el resultado de tecnologías desarrolladas para el espacio. Probablemente, los más conocidos derivados de la tecnología espacial, aunque este hecho se ignore, son los microprocesadores.

Los microprocesadores y los microcircuitos integrados se desarrollaron inicialmente para la industria de la defensa estadounidense y, después de su perfeccionamiento, se emplearon en las misiones espaciales Mercury, Gemini y Apolo de la NASA. Los científicos de la NASA se dedicaron al desarrollo de un microcircuito fiable y, sobre todo, pequeño, porque la reducción de las dimensiones de los sistemas es un factor importante en el diseño de un vehículo espacial ligero. Hoy en día, estos microprocesadores están prácticamente en cualquier aparato electrónico de uso doméstico, como los televisores, las cadenas de alta fidelidad y los hornos de microondas.

PROTECCIÓN CONTRA RADIACIONES

Otro producto sencillo, pero importante, se ha desarrollado a partir de la tecnología utilizada en las misiones lunares Apolo. Las cápsulas Apolo eran una obra maestra de la tecnología para el control de la temperatura: podían proteger a los astronautas contra temperaturas variables entre 200 °C y varios grados bajo cero. Para obtener este nivel de protección, se creó un escudo antirradiaciones con una película de polímero aluminado (es decir, revestido de aluminio), capaz de reflejar hasta el 95% de la radiación térmica.



Los trajes protectores de polímero aluminado que llevan estos bomberos se fabricaron a partir del escudo contra radiaciones utilizado para proteger la cápsula Apolo. La mayor parte de los equipos utilizados en la lucha contra incendios se han desarrollado para las misiones espaciales.

Esta tecnología se ha aplicado después al ahorro de energía doméstica e industrial, con el fin de reducir los costes de calefacción. También se utiliza para desarrollar cubiertas ligeras de emergencia empleadas por los equipos de salvamento.

COMBINACIONES REFRIGERANTES

Las aplicaciones de la tecnología espacial a la medicina han sido completamente inesperadas. En 1968, la NASA desarrolló una combinación refrigerante de tejidos interiores para uso espacial, que los astronautas pueden utilizar en las misiones a la Luna o en sus paseos por el espacio. Se trata de un sistema que permite la circulación de un líquido refrigerante alrededor del cuerpo mediante unos minúsculos tubos distribuidos por toda la vestimenta.

Esta tecnología se ha aplicado al tratamiento de la esclerosis múltiple. Desde hace años, se sabe que el enfriamiento del cuerpo puede reducir sensiblemente los síntomas de la esclerosis múltiple. A partir del diseño original de la NASA, se ha desarrollado un sistema refrigerante capaz de aliviar los sufrimientos de los enfermos de esclerosis múltiple. Recientemente, también se ha adoptado este sistema para reducir los síntomas de la parálisis cerebral y de la espina bífida, una anomalía congénita que se caracteriza por una hendidura del conducto de la columna vertebral.



Una manta térmica de polímeros y aluminio, desarrollada a partir de los escudos térmicos utilizados en el espacio, mantiene el calor de un niño prematuro, porque impide la dispersión del calor de su cuerpo. Los corredores de maratones utilizan mantas similares al final de las largas pruebas.

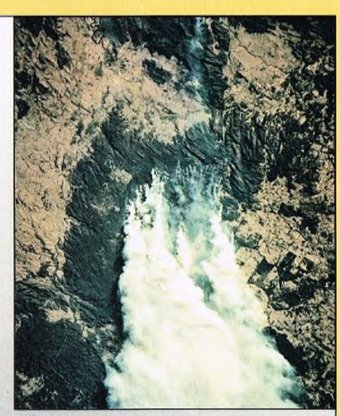
LOS EFECTOS DE LA INGRAVIDEZ

En el transcurso de unos experimentos de simulación sobre la ingravidez, los científicos del Johnson Space Centre pusieron a punto un biorreactor. Este aparato hace posible la reproducción de muchos tipos de células que, normalmente, no podrían desarrollarse en el exterior del cuerpo humano. Se trata de un importante paso adelante de la bioquímica, que puede ayudar a los científicos a comprender cómo y por qué mutan las células cancerígenas al reproducirse.

Además, se están estudiando sistemas orientados al control de la visión, capaces de permitir la inmediata identificación de defectos y malformaciones oculares, y una bomba insulínica de infusión para que los diabéticos puedan recibir insulina con un flujo constante.

DE LA LUCHA CONTRA LOS INCENDIOS A LA PESCA

Una importante aplicación de la tecnología de los satélites corresponde a la vigilancia del medio ambiente. Uno de los proyectos desarrollados, conocido como FLAME (llama), utiliza satélites para localizar fuegos forestales, lo que permite que las brigadas contra incendios intervengan rápidamente. Otro sistema de vigilancia utiliza satélites para alertar con anticipación a los responsables de la protección civil de la posibilidad de fenómenos meteorológicos peligrosos. Las técnicas para obtener información de los satélites incluyen la toma de imágenes de la superficie del planeta, empleando diferentes longitudes de onda y presentando con colores falsos las imágenes obtenidas. Un programa de investigación emplea un sistema de toma aérea de imágenes en color para poder medir las temperaturas y los colores del agua del mar, según nueve longitudes de onda diferentes, que registran la presencia de plancton o de clorofila. De esta manera se pueden vigilar con suficiente precisión los niveles de contaminación de los océanos: unos niveles bajos de clorofila en el agua indican la presencia de contaminantes químicos y de productos petrolíferos.



Un bosque de Queensland, Australia, en llamas por la sequía estival. El humo, visible en la imagen tomada por satélite, indica la dirección del viento, lo que permite identificar las zonas sometidas a un mayor riesgo.

ECOLOGÍA

En el campo de la ecología y del reciclaje de residuos, la tecnología espacial ha aportado dos importantes innovaciones.

En los primeros años de la década de los setenta, en los National Space Technology Laboratories (NSTL) de Bay St. Louis (Mississippi), se descubrió que los jacintos de agua prosperan en las aguas residuales de las cloacas. Parece ser que estas plantas pueden absorber y asimilar los compuestos orgánicos que hay en los líquidos cloacales y convertirlos en aguas limpias. Los NSTL están efectuando una serie de investigaciones para el empleo de estas plantas en el reciclaje y la depuración de las aguas. La técnica de la acuicultura ya se está empleando con éxito en numerosas ciudades pequeñas de Estados Unidos.

La segunda aplicación corresponde a una rama colateral de la investigación de la NASA sobre el medio ambiente. Se trata del desarrollo de un sistema de filtraje del aire basado en vegetales. El Biofilter 2000 tiene el aspecto de una maceta corriente de plantas, pero en realidad es un sistema de filtraje biológico que reduce o elimina los olores y los agentes contaminantes. Originalmente, esta investigación tenía como finalidad la creación de un sistema de supervivencia mediante el reciclado, concebido para las misiones de larga duración hacia otros planetas.

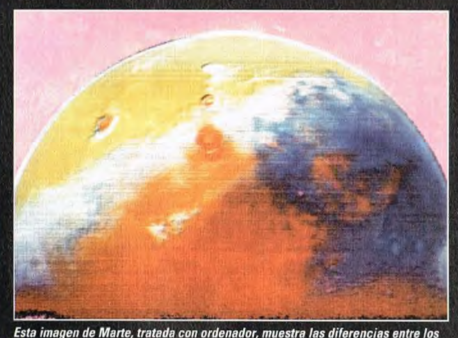
¿UNA NUEVA FRONTERA?

Es imposible predecir las innovaciones tecnológicas que pueden derivarse de las misiones espaciales, pero es necesario estar preparados para desarrollarlas y aprovecharlas. Muchas agencias espaciales, como la NASA y la ESA, ya han preparado redes de centros operativos con el objetivo de adaptar a los mercados las tecnologías que surgen de los laboratorios.

La finalidad de estos centros es identificar aquellas tecnologías prometedoras, cuya experimentación en el espacio resulte conveniente económicamente.



El Columbia en la fase de instalación de las últimas losetas aislantes del escudo térmico. La aplicación de las investigaciones de la NASA ha permitido progresos en la protección contra incendios de los cables eléctricos.



Esta imagen de Marte, tratada con ordenador, muestra las diferencias entre los diversos tipos de nubes, el polvo atmosférico, el hielo presente en la superficie y la estructura de las rocas. El procesamiento con colores artificiales se perfeccionó inicialmente para su empleo en la investigación espacial.

IMÁGENES EN COLORES FALSOS

Gracias a la aplicación de la tecnología de los satélites a la diagnosis médica, el cuerpo humano guarda cada vez menos secretos. En efecto, la preocupación cada vez mayor por los efectos a largo plazo de los rayos X en el cuerpo humano ha estimulado a los estudiosos a buscar otros métodos de exploración y de diagnosis médica. Uno de los métodos empleados actualmente es el que se conoce con el nombre de resonancia magnética. Esta técnica utiliza ondas de campo magnético y radioondas para explorar el interior del cuerpo humano. Desafortunadamente, las imágenes obtenidas con este sistema no son tan fáciles de interpretar como las producidas por los rayos X. Este inconveniente se ha resuelto adoptando, para las imágenes obtenidas con resonancia magnética, el mismo procesamiento con colores falsos que se aplica a las imágenes de satélites. Los tejidos del cuerpo humano se «etiquetan» con un color que permite identificarlos fácilmente. Esto permite obtener verdaderos «mapas» del cuerpo humano, con los que es posible localizar cualquier anomalía.

Imagen de un cuerpo femenino con colores artificiales, obtenida por resonancia magnética. Los tejidos y los órganos se identifican con las coloraciones. Los pulmones y los huesos de las extremidades aparecen en negro; la columna vertebral en amarillo y blanco; y los tejidos en una gama que va del rosado al anaranjado.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

VIAJEROS RESPLANDECIENTES

ESTRELLAS Y GALAXIAS

ISLAS DE ESTRELLAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

LEO

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LA LUZ

EL USO DEL ESPACIO

OBSERVAR EL OLEAJE



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

6



9 788439 554219
10006

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

VIAJEROS RESPLANDECIENTES

Como en siglos pasados, el cometa Halley es uno de los objetos celestes más familiares, pues este astro reaparece periódicamente tras su largo viaje por el espacio. Hoy, dicho cometa arroja nueva luz sobre el alba del sistema solar.



Debido a su larga y reluciente cabellera que surca la oscuridad del cielo nocturno, el cometa Halley ya fue observado por los antiguos antes de que se conociese su verdadera naturaleza. Los primeros avistamientos se remontan al año 2467 a.C., pero el primer registro de observación lo realizaron los chinos en el 240 a.C. Desde entonces, el cometa ha reaparecido 29 veces.

Hoy en día, se considera que los cometas son restos helados de la materia dispersada por el espacio cuando se formó el sistema solar, lo que significa que la composición química del cometa Halley ha sufrido pocas variaciones desde las primeras fases de la vida de dicho sistema, es decir, desde hace unos 4.500 millones de años. Los astrónomos, por lo tanto, pueden estudiar este brillante visitante de nuestros cielos para obtener datos sobre la formación del Sol y los planetas.

UN LARGO VIAJE

Como los planetas y los asteroides, el cometa Halley forma parte del sistema solar. Esta esfera de hielo y polvo orbita en torno al Sol, pero pasa el 98% de su vida en las remotas y gélidas regiones situadas en los confines del sistema solar; sólo se acerca al Sol una vez cada 76 años.



Sobre estas líneas, las colas de gas y polvo del cometa Halley que son visibles cuando el cometa pasa por las proximidades de la Vía Láctea. Esta imagen fue tomada en 1986 desde el Australia's Siding Spring Observatory. En la imagen a toda página, un primer plano del cometa.

Este período de tiempo recibe el nombre de período cometario y corresponde al tiempo empleado en dar una vuelta alrededor del Sol.

El cometa Halley toma su nombre del astrónomo británico Edmond Halley (1656-1742), que fue el primero en calcular su órbita. Halley comenzó su tarea en 1682, basándose en un elenco de cometas observados a partir de 1337 y en el estudio de la gravedad desarrollado poco antes por un famoso contemporáneo suyo, Isaac Newton.

Halley advirtió que los detalles del cometa visible en 1682 correspondían a los observados en el cometa aparecido en 1607 y 1531. Convencido de que se trataba del mismo objeto, Halley empleó muchos años en calcular su órbita y en predecir que el cometa reaparecería en 1758. No vivió lo bastante para ver confirmada su teoría, pero la historia le dio la razón, ya que el astro reapareció el 25 de diciembre de 1758, cuando el astrónomo alemán Johann Palitzsch localizó el cometa exactamente donde había predicho Edmond Halley.

UNA NUBE DE COMETAS

Se cree que la mayoría de los cometas viajan por el espacio procedentes de una única zona llamada Nube de Oort, situada en los confines de nuestro sistema solar. Esta nube esférica de cometas, así llamada en honor del astrónomo holandés Jan Oort (1900-1992), rodea probablemente los límites del sistema solar aproximadamente a un año luz de distancia del Sol.

Dentro de la Nube de Oort hay casi 100.000 millones de cometas que orbitan alrededor del Sol en forma de fragmentos helados de gas, polvo y rocas, perturbados en su movimiento por la fuerza gravitatoria de las estrellas de paso. Ésta termina por arrancar los cometas de su nube, empujándolos hacia el Sol.

LA NUBE DE OORT

Los cometas proceden de una vasta región, llamada Nube de Oort, que rodea el sistema solar. Dentro de la nube, los cometas orbitan en torno al Sol en forma de núcleos de hielo y rocas conservados por las bajísimas temperaturas reinantes. Las alteraciones causadas por el paso de estrellas pueden extraer algún cometa de la nube y lanzarlo hacia el Sol, siguiendo una órbita irregular. El cometa puede tardar millones de años en completarla.

COMETAS
Algunos cometas son extraídos de la nube: unos son atraídos hacia el Sol y otros lanzados al espacio interestelar

ESTRELLAS DE PASO
La gravedad de una estrella de paso perturba los cometas que orbitan alrededor del Sol dentro de la Nube de Oort

NUBE EXTERIOR
A veces, los cometas arrancados de la nube exterior «caen» hacia el Sol

DATOS

EL COMETA HALLEY

Tamaño del núcleo: longitud 15 km; anchura 8 km
Masa del núcleo: 200.000 millones de toneladas
Período de rotación: entre 53 y 56 horas
Longitud máxima de la cola: 120 millones de km
Período orbital medio: 76 años
Primer avistamiento registrado: 240 a.C.
Año avistamiento más luminoso: 837
Tiempo retorno más corto: 74,42 años
Tiempo retorno más largo: 79,25 años
Último avistamiento: 1986
Próximo retorno previsto: 2061

CENTROS OSCUROS
Se cree que las áreas oscuras que se encuentran entre las dos nubes contienen un número relativamente pequeño de cometas

NUBE INTERIOR
Los astrónomos piensan que muchos cometas están concentrados en una nube interior que orbita en torno al Sol



UN VIAJE HACIA EL SOL

Cuando un cometa se ha alejado de la Nube de Oort, su viaje hacia el Sol puede durar miles o millones de años. Los cometas con órbitas tan grandes se llaman cometas no periódicos. Algunos pueden limitarse a viajar hacia las proximidades del Sol, antes de abandonar completamente nuestro sistema solar para no regresar jamás.

Mientras que algunos cometas pasan a toda velocidad entre los planetas, otros son capturados por la fuerza de la gravedad de Júpiter y se convierten en parte del sistema solar interior, como le ocurrió al Halley hace unos 150.000 años. Estos cometas se llaman de corto período y orbitan en torno al Sol, empleando sólo 200 años como máximo en completar un período.

PERSONAJES

EDMOND HALLEY



1656 - 1742

Nacido en la localidad de Haggerston, actualmente un suburbio de Londres, Halley mostró desde su juventud un gran interés por la astronomía, razón por la cual decidió en 1673 asistir a los cursos de la Universidad de Oxford. Mientras tanto también trabajaba en el Royal Greenwich Observatory como ayudante de John Flamsteed (1646-1719). Después de dejar Oxford, pasó dos años en la isla de Santa Elena, en el Atlántico sur, donde estudió las estrellas del cielo austral y elaboró un catálogo especial de los astros. Halley no sólo fue el primero en descubrir que los cometas orbitan en torno al Sol, sino también el primero en sugerir que las nebulosas son en realidad nubes de gas dentro de las cuales se forman las estrellas. En 1720, tras la muerte de Flamsteed, fue nombrado astrónomo real. En su nuevo cargo completó poco antes de morir un estudio de 19 años sobre el movimiento de la Luna, pero no vivió lo bastante como para ver el retorno del cometa que en su honor fue llamado Halley.

DATOS

EL COMETA HALLEY A TRAVÉS DE LOS SIGLOS

12 a.C.: el cometa aparece en Roma antes de la muerte del emperador Agripa
451 d.C.: el cometa es asociado a la derrota de Atila en los campos Cataláunicos
837: el cometa se encuentra en el punto más próximo a la Tierra nunca alcanzado: unos 6 millones de km
1066: el cometa aparece poco antes de la batalla de Hastings, un acontecimiento inmortalizado en el tapiz de Bayeux
1301: Giotto utiliza el cometa en *La adoración de los Reyes Magos* como modelo para la estrella de Belén
1682: Edmond Halley lo observa por primera vez
1758: el cometa regresa a las proximidades de la Tierra de acuerdo con las previsiones de Halley
1910: se toman las primeras fotografías del cometa
1986: sondas espaciales estudian por primera vez el cometa



Abajo, la aparición del cometa en 1066 fue asociado a la derrota del rey anglosajón Harold II, representada en el famoso tapiz de Bayeux.



LA ESTRUCTURA DEL COMETA

El núcleo del cometa está formado de gas y polvo helado cubierto por una corteza oscura. Cuando el cometa orbita cerca del Sol, la radiación y el viento solar evaporan la materia del núcleo; se forman así la cabellera y, con la repulsión de los gases y los polvos emitidos, la cola luminosa.

NÚCLEO
El pequeño núcleo, de forma irregular, suele tener un tamaño de pocos kilómetros. Polvo granuloso, fragmentos de roca y de metal se combinan con gases muy fríos, como el nitrógeno y el monóxido de carbono, para dar origen a un núcleo que tiene un aspecto de bola de nieve sucia. Éste se encuentra recubierto, además, de una corteza oscura de varios centímetros de espesor

CABELLERA
Cuando el cometa se acerca al Sol, la radiación calienta el núcleo helado, con lo que se forman chorros de gas y polvo incandescentes que perforan la corteza y rodean el núcleo con una enorme nube llamada cabellera

VIENTO SOLAR
La presión del viento y de la radiación solares empujan hacia atrás la materia emitida por la cabellera; así se forman las colas de gas y polvo

El cometa Halley es uno de los pocos cometas de período corto lo bastante brillante para poder observarlo a simple vista; además, incluso pueden verse dos veces al año los residuos que deja, pues la órbita de la Tierra cruza el trayecto de los cometas. Cuando esto sucede, las partículas de polvo abandonadas a lo largo de la estela del cometa atraviesan nuestra atmósfera, creando enjambres de meteoros que pueden verse desde la superficie terrestre.

El primero de estos enjambres, el de las acuáridas o Eta *Aquaridi*, situado en la constelación de Acuario, es visible en torno al 4 de mayo, mientras que el segundo enjambre, el de las oriónidas, se vislumbra alrededor del 21 de octubre en la constelación de Orión.

HIELO FUNDIDO

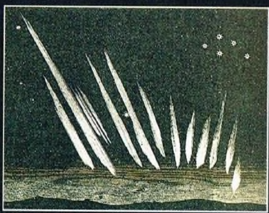
La brillante cola que siempre asociamos al cometa Halley se forma sólo cuando éste se aproxima a los planetas interiores (Venus, la Tierra y Marte). En las regiones más frías y gélidas del sistema solar, la cola desaparece; cuando el cometa se acerca al Sol, en cambio, las radiaciones empiezan a calentar su núcleo helado. Potentes chorros de gas y polvo incandescente comienzan a perforar la corteza del cometa, entrando en erupción como volcanes en miniatura y sembrando de cráteres su superficie.

El gas y el polvo rodean el núcleo con una nube, llamada cabellera, que se «enciende» a causa de las radiaciones solares, como si se tratara del gas de una lámpara fluorescente.

COLA DE POLVO
La radiación solar empuja el polvo emitido por el núcleo del cometa, que constituye entonces una brillante cola de polvo amarilla. La forma curvada de la cola se debe a las partículas de polvo que quedan rezagadas respecto a las que se emiten después. El color amarillo de la cola lo causa la reflexión de la luz solar

COLA DE GAS
Las partículas del viento solar eléctricamente cargadas empujan los gases vaporizados y forman una cola de gas recta. Cuando el monóxido de carbono está cargado eléctricamente, emite una luz azul, que confiere el típico color a la cola de gas

Recorrido orbital del cometa



Arriba, el gran cometa de 1744, llamado cometa De Cheseaux, emitía espectaculares colas múltiples, que tal vez se producían cuando el polvo era expulsado del núcleo a distintos intervalos; las partículas de polvo se disponían en distintas órbitas alrededor del Sol, creando así colas de polvo separadas.

Abajo, la cola del cometa se forma sólo cuando éste se acerca al Sol y la radiación de la estrella evapora la materia helada. Es frecuente que un cometa desarrolle dos colas: una de gas y otra de polvo. En el punto de máxima proximidad al Sol, o perihelio, se da la máxima emisión de gas, razón por la cual la cola puede expandirse hasta abarcar una longitud de 100 millones de kilómetros. A la máxima distancia del Sol, o afelio, la cola desaparece.

Afelio
La cola desaparece cuando el cometa se encuentra a la máxima distancia del Sol, es decir, en el afelio

El viento solar y la presión de la radiación empujan la cola en dirección contraria al Sol

Generalmente, la cola se forma cuando el planeta ha rebasado Marte

Sol

A veces se forman dos colas, una de gas recta, de color azul, y otra de polvo curvada, amarilla

Perihelio
La cola es más larga cuando el planeta se encuentra a la mínima distancia del Sol, es decir, en el perihelio

En este punto, la cabellera del cometa puede llegar a tener un diámetro de miles de kilómetros y aparecer, vista a través del telescopio, como una mancha desenfocada, mientras el viento solar y las radiaciones rechazan el material de la cabellera formando la llamada cola del cometa.

En el punto de mayor cercanía al Sol, la cola del cometa Halley puede extenderse por el espacio a lo largo de 100 millones de kilómetros.



Se cree que Giotto, al pintar la estrella de Belén que figura en* La adoración de los Reyes Magos*, se inspiró en el cometa Halley. El famoso pintor tuvo ocasión de verlo en su aparición de 1301.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

CÓMO LOCALIZAR UN COMETA

Hasta hoy, se han observado algo menos de mil cometas, algunos de los cuales han sido descubiertos, con prismáticos o pequeños telescopios, por astrónomos aficionados.

La mayor parte de los nuevos cometas se han descubierto dentro de un arco de 90° con vértice en el Sol y se han bautizado generalmente con el nombre de su descubridor.

Los buscadores de cometas deben conocer muy bien el cielo nocturno para localizar nuevos objetos.

El mejor momento para buscar un cometa es antes del alba en el cielo oriental y después del ocaso en el occidental.

A SIMPLE VISTA

Un cometa puede aparecer de muchas maneras: desde una mancha de luz opalescente a un objeto brillante dotado de cabellera y cola. Los cometas pueden aparecer en cualquier parte del cielo y moverse en cualquier dirección. Salvo raras excepciones, que corresponden a cometas muy brillantes, es necesaria una carta celeste para poder localizarlos. Entre los cometas brillantes que se han percibido a simple vista están el Hyakutake (abril de 1996) y el Hale-Bopp (inicios de 1997).

CON PRISMÁTICOS

Una vez identificado un cometa, los prismáticos son ideales para seguir su movimiento, pues estos astros atraviesan muy lentamente el cielo. La mejor manera de seguir el trayecto de un cometa consiste en comparar su posición respecto al fondo de estrellas en dos noches sucesivas.

CON UN TELESCOPIO

Los telescopios de gran angular, con objetivos de diámetro comprendido entre 100 y 150 mm, son los mejores instrumentos para observar la cabellera y la cola de un cometa.

COLAS MÚLTIPLES

En su última aparición, que tuvo lugar en 1986, el cometa Halley presentaba dos colas, una compuesta de gas y otra de polvo.

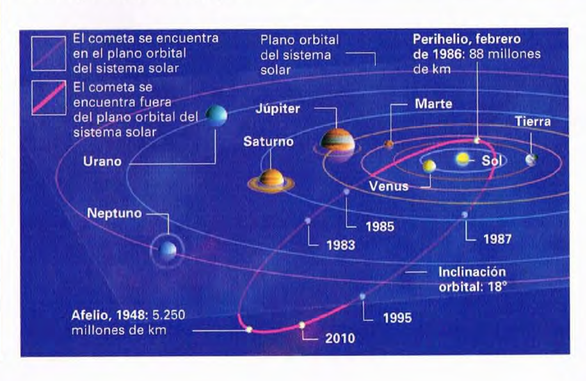
Las brillantes y curvadas colas de polvo se forman como consecuencia de la acción de la radiación solar que lanza el polvo en dirección contraria a la cabellera. Este tipo de cola refleja la luz solar y es de color amarillo. En cambio, las largas y rectas colas de gas se forman porque las partículas del viento solar cargadas eléctricamente rechazan el gas de la cabellera. El monóxido de carbono presente en la cola emite una luz azul que confiere a estos cometas su típico color azulado.

Como la mayoría de los cometas de período corto, el cometa Halley posee una órbita elíptica, inclinada unos 18° respecto al plano orbital del sistema solar, y cruza la órbita de siete planetas mientras gira alrededor del Sol. En el punto más próximo a la estrella, llamado perihelio, el cometa se encuentra dentro de la órbita de Venus, mientras que en el de máxima distancia, llamado afelio, se encuentra más allá de la órbita de Neptuno.

El cometa Halley se caracteriza por una órbita elíptica inclinada 18° respecto al plano de nuestro sistema solar, que cruza las órbitas de siete planetas en su viaje hacia el Sol. El diagrama inferior (que no está a escala) muestra la órbita elíptica del cometa Halley, que apareció por última vez en 1986. En 1995 se encontraba próximo a la órbita de Neptuno.

CITA CON EL COMETA

El 2 de julio de 1985 se lanzó desde la Guayana Francesa la sonda espacial Giotto para un viaje de 700 km, que debía llevarla a las cercanías del núcleo del cometa Halley. La sonda de la Agencia Espacial Europea (ESA), que llevaba a bordo 10 aparatos científicos, entre los cuales se encontraba una cámara fotográfica y un detector de polvo, pasó a menos de 540 km del cometa. Esta pequeña sonda, de 2,96 m de altura, llevaba un escudo protector de doble capa. Cuando atravesó el cometa, a una velocidad de 250.000 km/h, las partículas de polvo lo golpearon con una velocidad 70 veces mayor que la de un proyectil, averiando la cámara y muchos de los instrumentos transportados. Sin embargo, la Giotto sobrevivió a la colisión. Antes de que la cámara dejara de funcionar, la sonda mandó a la Tierra las primeras imágenes próximas de un cometa. En ellas se veía una superficie irregular caracterizada por colinas, valles y cráteres. El núcleo estaba revestido de una corteza de material oscuro que probablemente contenía carbono; además, siete potentes chorros de materia atravesaban la corteza por el lado del cometa que daba al Sol. Los instrumentos de la sonda midieron también el campo magnético del cometa y recogieron muestras de polvo y gas. Así se ha podido determinar que los gases que el cometa emite al espacio están compuestos por un 80% de agua, un 10% de monóxido de carbono y un 10% de una mezcla de metano, amoníaco, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y dióxido de carbono.



Esta imagen con colores artificiales del cometa Halley fue tomada el 13 de marzo de 1986 por la cámara multicolor Halley de la sonda Giotto. El núcleo es la mancha oscura situada en el ángulo inferior derecho; la mancha blanca central es un chorro de polvo emitido por el núcleo del cometa.

El núcleo oscuro del cometa Halley es visible en esta imagen. Se pueden identificar, además, varias características de la superficie: un cráter, situado entre las dos áreas brillantes de la izquierda, y una montaña a la derecha. Se observan también chorros de materia que emergen de la corteza.

ATRACCIÓN PLANETARIA

El período y la órbita de un cometa pueden ser alterados por la atracción gravitacional que ejercen los planetas. En el caso del cometa Halley, el más largo intervalo de tiempo entre dos avistamientos ha sido de 79 años, mientras que el más breve ha sido de unos 74. En el año 837 de nuestra era, el cometa pasó a la mínima distancia registrada, apenas seis millones de kilómetros de la Tierra, y su inmensa cola se extendía por la mitad de la bóveda celeste. En 1986, el cometa pasó a 63 millones de kilómetros de la Tierra, por lo que su imagen no fue tan espectacular.

OBSERVACIÓN PRÓXIMA

La última visita del cometa Halley ha permitido dar un gran salto adelante en el estudio de este objeto celeste. Las primeras fotografías del cometa Halley datan de 1910, pero sólo en 1986 los progresos de la tecnología espacial permitieron enviar sondas al espacio para analizar su núcleo. La sonda europea Giotto fue el vehículo espacial que más se acercó al cometa, ya que pasó a menos de 540 km de su núcleo; esta proximidad permitió tomar fotografías detalladas del núcleo y recoger muestras de gas y polvo dispersados por el cometa. Este gas, formado por hidrógeno, nitrógeno, monóxido de carbono y oxígeno, estaba combinado con partículas granulares de polvo, rocas y metales dentro de un núcleo (15 × 8 km) de unos 200.000 millones de toneladas. Una corteza negra recubría el núcleo helado. En el lado dirigido hacia el Sol, chorros de gas y polvo acribillaban la superficie. En su última visita a la Tierra, el cometa Halley dispersó al espacio unos 300 millones de toneladas de materia.

El cometa reaparecerá en el año 2061. Entonces, otros materiales, calentados por las radiaciones solares, se dispersarán por el espacio. El proceso se repetirá una y otra vez, y el cometa será cada vez más difícil de observar. A veces un cometa puede desintegrarse y desaparecer, pero los astrónomos creen que el cometa Halley seguirá existiendo durante otros 150.000 años.

El núcleo del cometa Shoemaker-Levy 9 se subdividió en una ristra de casi 20 fragmentos durante su paso por las cercanías de Júpiter en 1992. El cometa concluyó su existencia en 1994, cuando los fragmentos próximos al planeta se precipitaron sobre su superficie.



ISLAS DE ESTRELLAS

Las estrellas que se encuentran en el espacio no están distribuidas irregularmente sino reunidas en grandes «islas» llamadas galaxias, cuya cohesión se debe a la fuerza de la gravedad.



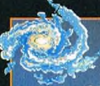
Las estrellas se forman y desarrollan en enormes cúmulos llamados galaxias. Hubo un tiempo en que se pensó que los astros estaban distribuidos aleatoriamente por el espacio; sólo la atenta observación del arco luminoso que surca el cielo, la Vía Láctea, permitió comprender que las estrellas estaban reunidas en grupos.

Los primeros astrónomos no sabían que la banda lechosa que atravesaba el cielo era nuestra Galaxia; cuando nos encontramos dentro de algo, en efecto, es difícil determinar cuál puede ser su forma general.

LA FORMA DE NUESTRA GALAXIA

Uno de los mayores retos de la astronomía ha sido la determinación del aspecto de nuestra Galaxia. La Vía Láctea es una débil banda de luz difusa que puede contemplarse en una noche clara y sin luna, siempre que en las proximidades no haya suficiente luz artificial como para perturbar la observación.

Galileo Galilei, que observó la Vía Láctea con un rudimentario anteojo, fue el primer estudioso en comprender que se trataba en



LOS NOMBRES DE LAS GALAXIAS

Sólo unas pocas galaxias conocidas tienen un nombre familiar; generalmente son las más brillantes y famosas, como la galaxia de Andrómeda. Muchas galaxias se identifican con el prefijo M, en honor de Messier, célebre astrónomo francés «cazador» de cometas. En 1781, Messier compiló un elenco de objetos visibles en el cielo nocturno para no confundirlos con cometas. Un ejemplo es M87, la gigantesca galaxia elíptica de la constelación de Virgo.
Con el progreso de los instrumentos se han ido descubriendo galaxias en número creciente, por lo que ha resultado poco práctico atribuirles nombres o números de referencia. Actualmente, los astrónomos bautizan las galaxias recién descubiertas mediante coordenadas astronómicas.

GALAXIA ESPIRAL

Una galaxia es una isla espacial de estrellas que comprende un número variable de objetos, desde un millón hasta un billón de estrellas (en las galaxias supergigantes). La imagen muestra una galaxia espiral típica, de 100.000 años luz de diámetro. Las estrellas están densamente agrupadas en la zona del núcleo; los brazos espirales contienen las estrellas más jóvenes y calientes, y presentan capas de hidrógeno gaseoso y de polvo que en el futuro constituirán la «cuna» de nuevas estrellas. Las estrellas más viejas están en el halo externo, formado por cúmulos globulares.

realidad de un vasto conjunto de estrellas. Su intuición no tardó en ser aceptada por gran parte de los astrónomos. Surgió entonces el problema de tratar de medir el tamaño de la Galaxia y de descubrir la posición del sistema solar en su interior.

EL RECUENTO DE LAS ESTRELLAS

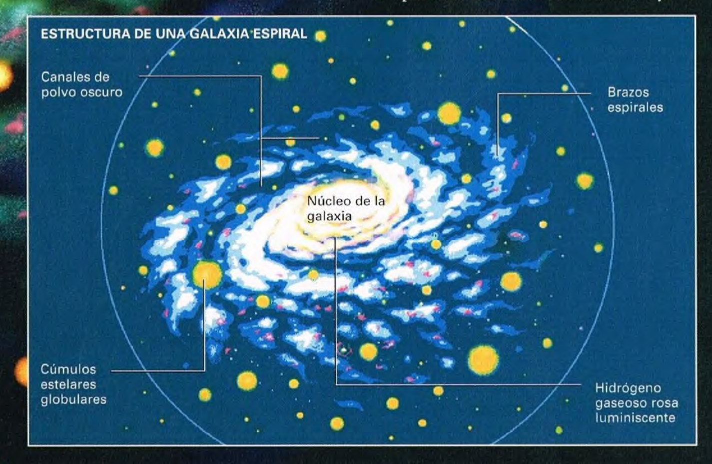
A finales del siglo XVIII, William Herschel (1738-1822) realizó detallados cálculos de las estrellas presentes en varias direcciones del cielo. De sus estudios se desprendía que el Sol estaba cerca del centro de la Galaxia, aunque, por desgracia para Herschel, el meticuloso recuento que efectuó resultó bastante impreciso. Además, el astrónomo no sabía que las galaxias contienen inmensas nubes de polvo que oscurecen las estrellas más distantes.

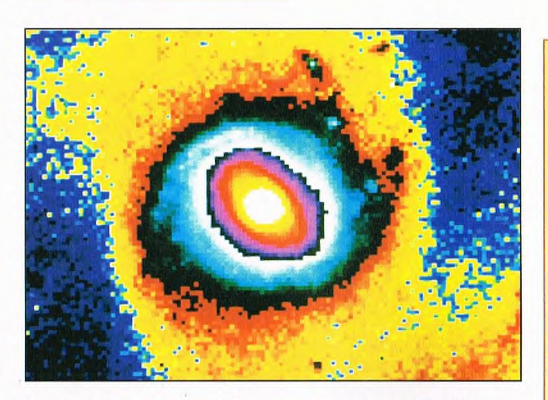
Hubo que esperar a principios del siglo XX para que el astrónomo norteamericano Harlow Shapley (1885-1972) realizara mediciones más precisas. Shapley descubrió no sólo que la Galaxia era bastante mayor de lo que habían supuesto los anteriores astrónomos sino también que el Sol estaba más cerca del límite exterior que del centro.

EL DESCUBRIMIENTO DE LA ESPIRAL

Los años cincuenta constituyeron un importante salto adelante en el conocimiento de nuestra Galaxia. Fue entonces cuando los astrónomos norteamericanos y holandeses, que estudiaban las nubes de hidrógeno gaseoso (capaces de emitir ondas de radio) que se encuentran en su interior, descubrieron que la Galaxia tiene una estructura espiral.

Nuestra Galaxia tiene una forma típica de espiral; está compuesta por un disco de 100.000 años luz de diámetro que lleva en el centro una protuberancia o bulbo, una esfera de estrellas de unos 3.000 años luz de espesor. Los brazos de la Galaxia no constituyen





Una imagen infrarroja con colores artificiales de las regiones interiores del M51, galaxia de la constelación de los Perros de Caza. Se puede observar que una galaxia está constituida por estrellas en diferentes estadios de evolución. Las estrellas jóvenes y calientes se encuentran en los brazos espirales, y se representan de color amarillo.
Los brazos espirales contienen también nubes de hidrógeno y de polvo, en las cuales se forman nuevas estrellas. El núcleo, en cambio, contiene las estrellas más viejas. Estos astros, más fríos, están densamente agrupados y se representan mediante varios círculos de color blanco, azul y rojo oscuro.

espirales muy estrechas y giran alrededor del centro. El Sol tarda unos 225 millones de años en completar una vuelta.

En la región central, las estrellas están agrupadas de forma mucho más densa. La propia espiral está sumergida en un halo más vasto de cúmulos estelares que se extiende a lo largo de unos 150.000 años luz del centro y contiene las estrellas más viejas de la Galaxia.

LAS FORMAS DE LAS GALAXIAS

Las galaxias empezaron a formarse hace unos 14.000 millones de años, es decir, unos 1.000 millones de años después del Big Bang. Aunque todavía no se sabe cómo tuvo lugar exactamente el proceso de formación, se cree que unos cúmulos de materia densos y calientes se condensaron dando vida a las primeras galaxias. La nuestra es una más dentro de los muy distintos tipos posibles de galaxias, que pueden variar en forma, tamaño y masa. Las galaxias se clasifican en: elípticas, espirales e irregulares.

Las galaxias elípticas, que son las más viejas, tienen formas variables: desde cuasiesferas a cilindros. Las mayores presentan diámetros de millones de años luz y sólo son superadas en luminosidad por los cuásares (núcleos activos de las galaxias lejanas).

GALAXIAS ESPIRALES E IRREGULARES

Las galaxias espirales se clasifican en ordinarias y barradas. Las espirales ordinarias tienen brazos que emergen directamente del núcleo; las barradas, en cambio, poseen un puente de estrellas centrales que conecta los extremos interiores de los dos brazos espirales. Las galaxias espirales tienen tamaños variables, de unos 20.000 años luz a más de 100.000 años luz de diámetro.

Las demás galaxias del universo se definen como irregulares: no presentan formas especiales y a menudo están asociadas a galaxias de mayor tamaño. Dos famosas galaxias irregulares son la Pequeña y la Gran Nube de Magallanes, que acompañan a nuestra Galaxia y son visibles desde el hemisferio austral.

PERSONAJES

HARLOW SHAPLEY



1885 - 1972

El astrónomo norteamericano Harlow Shapley no había cumplido todavía los 30 años cuando realizó uno de los más grandes descubrimientos de la astronomía: el Sol no estaba en el centro de la Galaxia. En 1918, con su teoría de la Gran Galaxia, fue también el primero en calcular el diámetro de la nuestra, con un valor de unos 300.000 años luz, 16 veces mayor que el que en aquella época se daba por supuesto y tres veces mayor que el hoy aceptado. Aunque las conclusiones de Shapley no siempre fueron del todo acertadas, gracias a sus estudios hoy sabemos que la Tierra no está en el centro de la Galaxia y que la humanidad debe aceptar el hecho de habitar en una región situada en la periferia de nuestra gran «isla» estelar.

CÚMULOS Y SUPERCÚMULOS

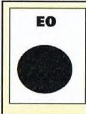
Las galaxias se agrupan en cúmulos y supercúmulos. Nuestra Galaxia se encuentra en el Grupo Local, que comprende unas veinte galaxias y tiene un diámetro de unos tres millones de años luz. A unos 50 millones de años luz del Grupo Local está el Cúmulo de Virgo, el cual, observado desde la Tierra, cubre un área celeste 200 veces mayor que la de la Luna llena y contiene varios miles de galaxias. En el centro de este cúmulo se encuentra la gigantesca galaxia elíptica M87, mayor que todo el Grupo Local. Hay cúmulos todavía mayores, como el Cúmulo de la Cabellera de Berenice, que contiene decenas de miles de galaxias.

LOS NÚCLEOS DE LAS GALAXIAS

Los cuásares (radiofuentes cuasiestelares), núcleos de enormes galaxias activas, son los objetos más luminosos del cielo. Una de las galaxias más lejanas es un cuásar, el QSO 1207-07, que dista de nosotros unos 13.000 millones de años luz y se aleja a una velocidad de 273.000 km/s. Cada año se descubre un número mayor de galaxias. A medida que logramos investigar distancias cada vez mayores, también son más complejos los interrogantes que plantean las galaxias.

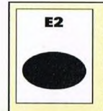
LA GALERÍA DE LAS GALAXIAS DE EDWIN HUBBLE

El sistema de clasificación ideado por Edwin Hubble subdivide las galaxias en cuatro clases principales según su forma. Las galaxias elípticas (E) varían gradualmente desde las casi esféricas (EO) hasta las alargadas en forma de cigarro (E7), pasando por ocho formas intermedias. Las galaxias espirales (S) se subdividen según la posición de los brazos: desde las que presentan brazos estrechamente replegados (Sa) hasta aquellas cuyos brazos son amplios y no están adosados al núcleo (Sc). El segundo tipo de galaxias espirales presenta una gruesa barra de estrellas que une el núcleo con los brazos espirales (SB). Como las galaxias espirales normales, las galaxias SB se subdividen en subtipos «a», «b» y «c», según que la forma de los brazos sea replegada o abierta. El resto de las galaxias visibles del universo, cerca del 25% del total, se clasifican como irregulares (Ir) y carecen de forma identificable o de modelo adecuado a partir del cual describirlas.



La galaxia elíptica M87 de la constelación de Virgo, cuyo diámetro mide 10 millones de años luz, es una de las más grandes.





M32 (diámetro: 2.400 años luz) es una de las dos galaxias enanas que orbitan alrededor de Andrómeda.





NGC 3115, clasificada como E7, posee la forma más alargada codificada en la clasificación de las galaxias elípticas.



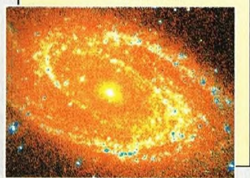


M65, en la constelación de Leo, está situada casi lateralmente vista desde nuestra posición.





M81 es parecida a nuestra Galaxia; tiene un diámetro de 100.000 años luz y contiene casi 200.000 millones de estrellas.





M33, en la constelación del Triángulo, forma parte del Grupo Local de galaxias. Sus brazos espirales son amplios.



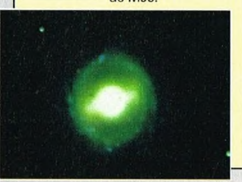


NGC 7479, en la constelación de Pegaso, tiene una barra en el núcleo, de la que parten los brazos espirales.





El calificativo (r) adjunto a las siglas SBb se refiere al anillo, situado en torno a la barra central de M95.



Ir Cerca del 25% de las galaxias carecen de forma bien definida; su masa es insuficiente para poder desarrollar brazos espirales. M82, en la Osa Mayor, es una típica galaxia irregular.



LEO



La constelación de Leo representa el león muerto por Hércules agazapado en el cielo.

Leo, importante constelación zodiacal, tiene una forma reconocible en el cielo nocturno.



La galaxia espiral M66, de magnitud 9, puede observarse con prismáticos en el cielo nocturno.



Como todas las constelaciones zodiacales, la constelación de Leo tiene orígenes antiguos. Su nombre está ligado a la expresión italiana «solleone», que indica la época más cálida del año, entre los meses de julio y agosto; hace miles de años, en efecto, el Sol se encontraba en esta constelación durante la canícula.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

La constelación de Leo se puede localizar a unos 40° al sur de la Osa Mayor. Se puede empezar a trazar su perfil partiendo de la estrella más luminosa, que representa la parte inferior del pecho, subiendo en dirección norte hacia la cabeza o moviéndose en dirección este (con el norte a la espalda) hacia la cola.

ESTRELLAS PRINCIPALES

La estrella Alfa de Leo (magnitud 1,4) es Régulo, que en latín significa «pequeño rey»; el nombre se debe probablemente al hecho de que esta estrella está casi tocando la eclíptica, recorrido anual del Sol. Por ello, es frecuente que los planetas y la Luna pasen cerca de ella, como si en cierto modo le rindieran homenaje. A veces el disco lunar transita sobre la estrella, ocultándola.

Régulo tiene una compañera de magnitud 8, observable con prismáticos. A diferencia de la estrella principal, de color azul, la compañera es roja y más fría. El contraste de colores ofrece un notable espectáculo a quien observe el sistema con un telescopio.

La segunda estrella en luminosidad es Denebola o Beta *Leonis* (magnitud 2,1), que representa la cola del león.

Algieba (Gamma *Leonis*) es una estrella doble muy interesante: las dos componentes, dos estrellas amarillas de magnitudes 2,3 y 3,5, orbitan la una alrededor de la otra en un tiempo del orden de varios siglos; su máxima separación en el cielo, de unos cinco segundos, tendrá lugar dentro de unos 100 años.

R *Leonis*, al oeste de Régulo, es una estrella pulsante, es decir, un astro que atraviesa un período de inestabilidad que le obliga a «hincharse» y «deshincharse» periódicamente. Estas pulsaciones provocan una variación de luminosidad de la estrella, que en cerca de un año pasa de una magnitud 4 a una magnitud 11. Como todas las estrellas variables, se designa por medio de una letra del alfabeto latino.

DÓNDE BUSCARLA

LEO

La constelación de Leo abarca una región comprendida entre 33° N y 6° S de declinación, y entre 9 horas 20 minutos y 11 horas 55 minutos de ascensión recta.
Leo es íntegramente visible parte del año desde regiones situadas entre 84° N y 57° S. Nunca es íntegramente visible por encima de 84° N ni por debajo de 57° S. Al cabalgar sobre ambos hemisferios, la constelación no es íntegramente visible todo el año desde ningún punto de la Tierra.
A latitudes como la de España Leo sólo es visible en un período muy limitado centrado en la primavera, cuando domina, a considerable altura en el horizonte meridional, las noches de abril.

OBJETOS NOTABLES

La constelación de Leo contiene muchas galaxias. Las más importantes forman dos pares: M65 y M66, de una parte, y M95 y M96, de otra. Estas cuatro galaxias se encuentran debajo del cuerpo del león y sólo son visibles con telescopios cuya apertura sea al menos de 10 cm.

La más brillante es M66, de magnitud 8; M65 y M96 son de magnitud 9, y M95, de magnitud 10. Las cuatro galaxias se encuentran a una distancia similar de la Tierra y forman parte de un pequeño grupo no muy alejado del Grupo Local.

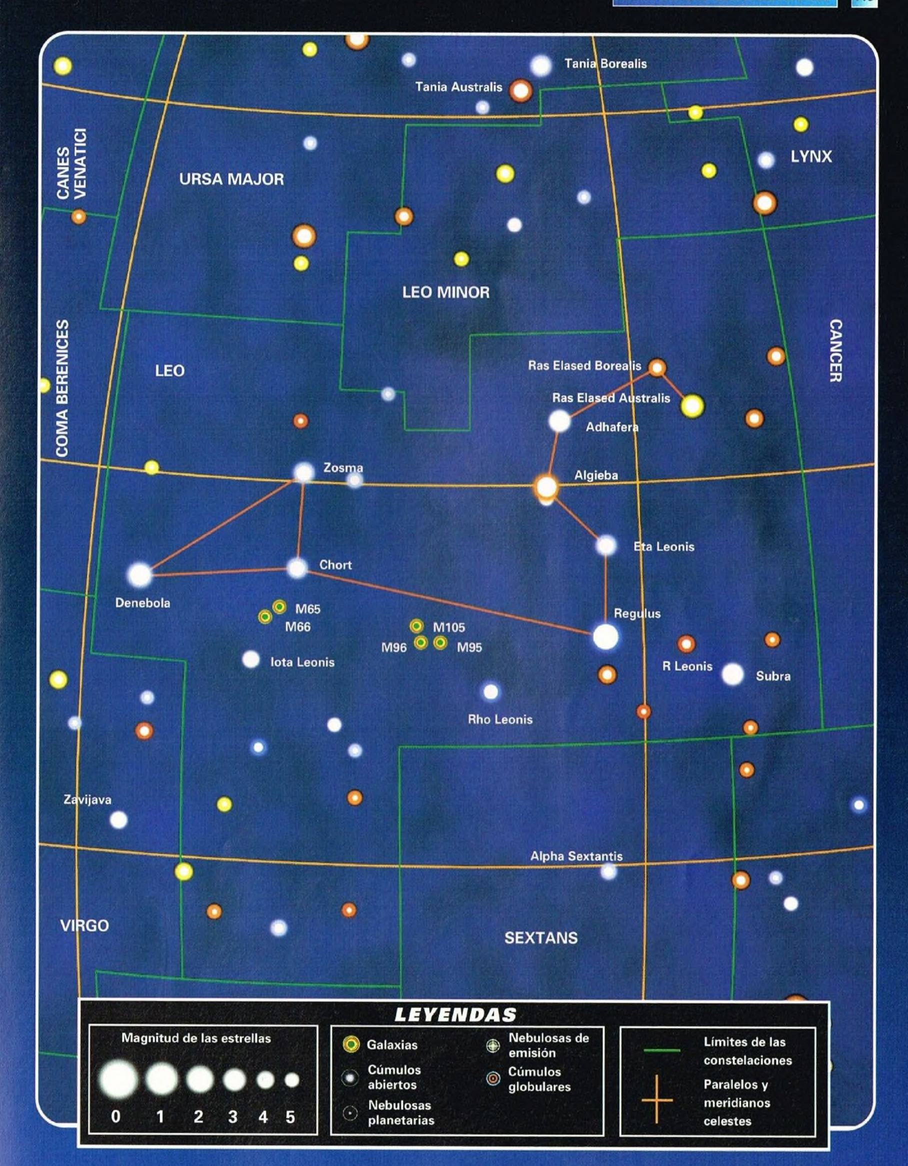
Otra galaxia de magnitud 9 es M105, cuya posición no dista demasiado de la del par M95-M96.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

LEO

La constelación de Leo representa el mítico león de Nemea, un animal al que no podía herir ningún arma y mucho menos matar, porque su piel era invulnerable. Según el antiguo relato griego, el león atacó y capturó a los habitantes de Nemea, que fueron rescatados por Hércules, el héroe invencible dotado de una fuerza sobrehumana. Enloquecido por Juno, Hércules mató a su mujer y a sus hijos. Como castigo, se le exigió el cumplimiento de doce empresas «imposibles», los famosos doce trabajos. La primera fue el rescate de los habitantes de Nemea y la muerte del león. Hércules estranguló al animal y se hizo un manto con su piel.


Tania Borealis
Tania Australis
CANES VENATICI
URSA MAJOR
LYNX
LEO MINOR
COMA BERENICES
LEO
CANCER
Ras Elased Borealis
Ras Elased Australis
Adhafera
Zosma
Algieba
Eta Leonis
Chort
Denebola
Regulus
M65
M66
M105
M96
M95
Iota Leonis
R Leonis
Subra
Rho Leonis
Zavijava
Alpha Sextantis
VIRGO
SEXTANS
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Cúmulos abiertos
Nebulosas planetarias
Nebulosas de emisión
Cúmulos globulares
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LA LUZ

UNA IMAGEN DEL UNIVERSO

La luz es la forma de energía que nos permite vivir y también ver cuanto nos rodea. Los astrónomos la utilizan para estudiar los objetos del espacio.



La luz, que para nosotros es una presencia natural en la vida cotidiana, constituye para los astrónomos una importante clave para la comprensión del universo.

La luz se propaga siempre en línea recta a no ser que encuentre obstáculos. Cuando pasa de un medio transparente a otro, por ejemplo del aire al vidrio, puede refractarse (desviarse). También puede reflejarse, es decir, «rebotar» en una superficie lisa, como un espejo. La luz es la parte del espectro electromagnético que nuestros ojos pueden percibir, una forma de energía que viaja por el espacio como una onda y se mide en longitudes de onda.

EL ESPECTRO DE LOS COLORES

El físico Isaac Newton fue el primer científico que estudió la luz visible. Newton utilizó un prisma para descomponer la luz blanca en siete colores: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo y violeta. Los siete componentes de la luz constituyen el espectro de colores, y toda longitud de onda de la luz visible corresponde a un color del espectro. La luz roja es la de mayor longitud de onda, de unos 700 nanómetros, mientras que la luz violeta es la de longitud de onda más corta, de unos 400 nanómetros. Los científicos creyeron durante mucho tiempo que la luz se alteraba al pasar a través del vidrio, y que ésta era la razón por la que se formaban los colores. Hoy en día, sabemos que la luz blanca está compuesta por todas las radiaciones, de distinta longitud de onda, que constituyen la ventana del espectro visible.

UN UNIVERSO EN EXPANSIÓN

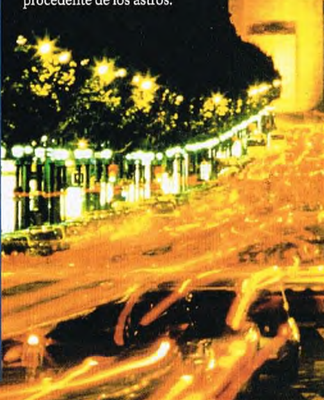
Sin la luz procedente del Sol, la Tierra sería un cúmulo inhóspito de rocas, un lugar oscuro, gélido y carente de vida. El estudio de la luz ha permitido también comprender mejor la naturaleza del sistema solar. Los astrónomos han descubierto prácticamente todo lo que saben sobre el sistema solar gracias al estudio de la luz procedente de los astros.

REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

Cuando la luz viaja libremente por el espacio, se propaga en línea recta; cuando incide sobre un objeto, en cambio, se refleja o se refracta. La reflexión tiene lugar cuando las ondas luminosas rebotan sobre un objeto, según un ángulo igual al de incidencia, como ocurre cuando una pelota rebota en una pared. Ésta es la razón por la cual podemos ver la reflexión en un espejo. Cuando la luz pasa a través de un objeto transparente, cambia de dirección, es decir, se refracta. Las lentes de vidrio, diseñadas para refractar la luz según un cierto ángulo, pueden ser convexas o cóncavas. Las cóncavas desvían la luz de modo que los rayos divergen entre sí y se utilizan como oculares en los prismáticos. Las lentes convexas, en cambio, refractan la luz de modo que los rayos convergen en un foco; se utilizan en las cámaras fotográficas y en los telescopios.




Los espejos reflejan la luz



La espectroscopia, parte de la astronomía que se ocupa de estudiar la luz por medio de su composición en el espectro de colores, ha realizado muchos descubrimientos fascinantes.

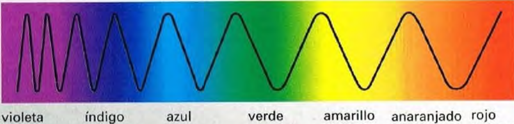
El astrónomo británico William Huggins (1824-1910) fue uno de los pioneros de la espectroscopia. Huggins estudió el espectro de Sirio, en la constelación de Can Mayor, y descubrió que las radiaciones luminosas procedentes de átomos como el hidrógeno se propagaban desplazándose hacia las longitudes mayores del espectro, es decir, hacia el rojo.

Huggins comprendió que este desplazamiento se debía al alejamiento relativo de la estrella respecto a la Tierra. Dicho alejamiento producía un aumento de la longitud de onda de la luz y el consiguiente desplazamiento hacia el extremo rojo del espectro. Actualmente, los científicos han medido el desplazamiento hacia el rojo de galaxias lejanas, demostrando que nuestro universo se está expandiendo en todas direcciones.

La luz láser es distinta de la luz normal. Generalmente, las ondas luminosas están desfasadas unas respecto a otras, razón por la cual desperdigan su energía por una amplia área. Las ondas de la luz láser, en cambio, están en fase, por lo que crean haces de luz delgados y de gran intensidad. La fotografía muestra unos potentes rayos láser que surcan el cielo de París, durante un espectáculo.

EL ESPECTRO DE LA LUZ VISIBLE

La ventana de la luz visible se halla en mitad del espectro electromagnético. Las longitudes de onda de las radiaciones electromagnéticas vienen dadas en nanómetros (nm); 1 m = 1.000 millones de nm.



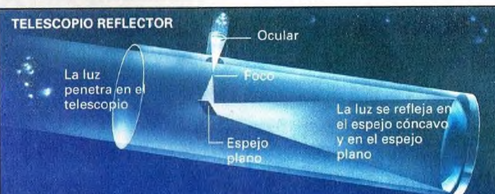
TIPOS DE TELESCOPIOS

La invención del telescopio constituyó una revolución en la historia de la astronomía, ya que permitió observar una parte mayor del universo. De hecho, el ojo recoge sólo una pequeña cantidad de luz porque su apertura, la pupila, es muy pequeña.

Hay dos tipos principales de telescopios: los que utilizan una lente para recoger y focalizar la luz, que se llaman telescopios refractores o anteojos; y los telescopios reflectores, que reflejan la luz mediante un espejo cóncavo.

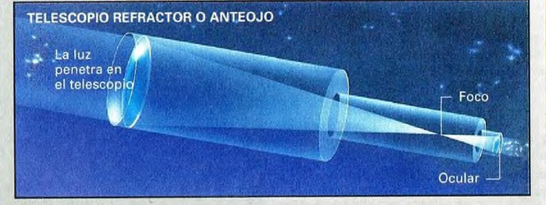
Hans Lippershey (1570-1619), un fabricante de lentes holandés, inventó el telescopio refractor hacia 1608. Con él, Galileo Galilei realizó importantes descubrimientos, como el de las fases de Venus. El telescopio reflector fue inventado por Isaac Newton en 1671. Los primeros telescopios recogían la luz gracias a una lente o espejo de pocos centímetros de diámetro. Hoy existen enormes telescopios reflectores, como el Keck Telescope, instalado en la cima del Mauna Kea, en Hawai, que posee un espejo de 10 m.

La ubicación ideal de los grandes telescopios ópticos es en la cima de las montañas, por encima de la bruma atmosférica y lejos de las luces de la ciudad. Pero los telescopios más eficaces para recoger la luz del espacio son los que se encuentran totalmente fuera de la atmósfera terrestre, como el telescopio espacial Hubble.



Arriba, un telescopio reflector refleja la luz mediante un espejo cóncavo; éste la focaliza sobre un espejo plano, que la desvía hacia el ocular.

Abajo, un telescopio refractor va provisto de una lente convexa que proyecta la imagen en el foco que se encuentra delante del ocular.



LA CIENCIA DE LA LUZ

La luz también puede suministrar informaciones acerca de la composición química de objetos distantes en el espacio. Al ser excitados por colisiones o por el calor, los átomos emiten fotones, es decir, partículas de luz. Estos fotones se caracterizan por un color y una longitud de onda específicos. Por ejemplo, el sodio emite luz amarilla; el hidrógeno, luz roja; y el oxígeno, luz verde. El científico alemán Gustav Kirchhoff (1824-1927) fue el primero en descubrir una relación entre la naturaleza de los átomos y los colores de la luz que emiten.

Kirchhoff descubrió que calentando moléculas y átomos se producía un espectro característico de líneas de color, llamado espectro de emisión. Estas líneas luminosas corresponden a las variaciones de energía sufridas por los átomos. Cada elemento químico tiene un espectro característico de emisión comparable a nuestras huellas digitales. Como la luz procedente de los objetos gaseosos del espacio, por ejemplo las nebulosas, produce un espectro de emisión, los astrónomos pueden emplearla para identificar los elementos químicos que componen dichos objetos.

EL ESTUDIO DE LA LUZ

La luz procedente de los objetos distantes brinda a los científicos otras muchas informaciones, como la forma del objeto, su tamaño y su temperatura.

La nebulosa de Orión es una gigantesca nube de gas y polvo de la constelación del mismo nombre. La luz verdosa que emite procede de los átomos de oxígeno eléctricamente cargados que se encuentran en la nube. Debido a las extremas condiciones ambientales que reinan en el espacio, los científicos han reproducido esta luz en laboratorios terrestres para efectuar estudios más detallados de la nebulosa.

Curiosamente, las fotografías de la nebulosa de Orión presentan un color rojizo. La razón de ello estriba en que

BARCOS ESPACIALES

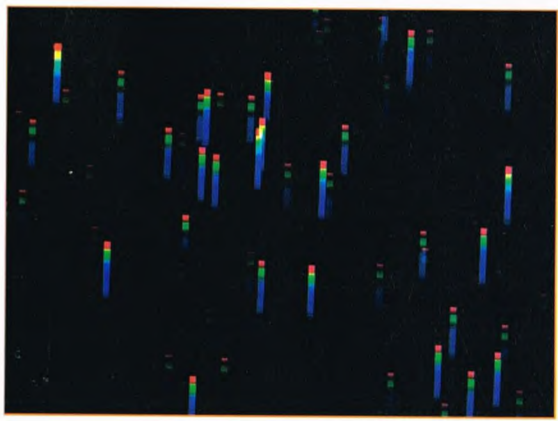
Los átomos, al excitarse por el calor o los choques, emiten fotones o partículas de luz. El descubrimiento de que la luz puede comportarse no sólo como una onda sino también como una partícula ha dado origen a una teoría que podría contribuir a hacer realidad los viajes interestelares. Los vehículos espaciales podrían convertirse en «barcos» de grandes «velas», formadas por grandes paneles metálicos reflectores. Sobre éstos podrían incidir flujos de fotones. La energía de la luz podría permitir alcanzar grandes velocidades, por lo que la posibilidad de los viajes interestelares se convertiría en una hipótesis realista.

La luz se comporta en ciertos aspectos como una onda

La luz se comporta en cierto modo como una partícula

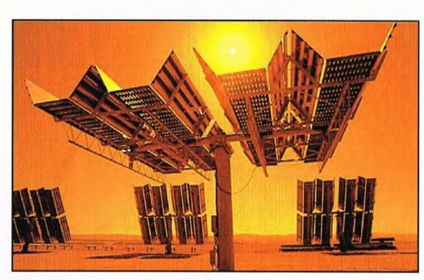


A la derecha, esta imagen de la nebulosa Trífida, en la constelación de Sagitario, muestra una nube de hidrógeno gaseoso que emite una brillante luz roja. La nube azul menos brillante que hay a su derecha, llamada nebulosa de reflexión, está formada de gas y polvo. El gas, demasiado frío para emitir luz propia, brilla gracias a la luz de las estrellas vecinas. La luz permite a los astrónomos mejorar el conocimiento de las leyes del universo.



A la derecha, se muestran los espectros de algunas estrellas de un cúmulo abierto. Un pequeño prisma colocado en un extremo de un telescopio permite a los astrónomos descomponer la luz en sus longitudes de onda, dando lugar al espectro de colores.





el objeto contiene hidrógeno, que emite luz roja. Nuestros ojos son más sensibles al verde, mientras que la película fotográfica lo es al rojo.

Los astrónomos también consiguen obtener informaciones sobre la temperatura de la superficie de una estrella gracias al color de la luz emitida. Una estrella de baja temperatura emite rayos infrarrojos, unas radiaciones de mayor longitud de onda que la que pueden detectar nuestros ojos. Una estrella más caliente, de miles de grados centígrados de temperatura superficial, como el Sol, emite luz visible. Al aumentar la temperatura, el color pasa del rojo al anaranjado y al amarillo. Cuando las estrellas son más calientes, emiten luz blanca. Cuando son muy calientes, emiten luz blancoazulada.

Los científicos consideran la velocidad de la luz, de cerca de 300.000 km/s, como el límite natural de velocidad del universo.

La luz es una forma de energía, y la luz del cielo se emplea para producir electricidad en las plantas de energía solar. En ésta, instalada en Estados Unidos, los ordenadores controlan los mecanismos móviles de los paneles solares para mantenerlos orientados hacia el Sol. De noche, los ordenadores giran los paneles hacia el este para recoger la luz solar desde primeras horas del alba.



LA REFRACCIÓN DE LA LUZ A TRAVÉS DEL AGUA

Los efectos de la refracción pueden observarse mediante un experimento sencillo.
Colocad un pequeño botón en el fondo de un vaso de vidrio transparente y movedlo hasta que no os sea posible verlo. Pedidle a una persona que llene el vaso de agua y mantened la cabeza perfectamente inmóvil: el botón volverá a hacerse visible.
El fenómeno se debe al hecho de que los rayos de luz se refractan al dejar el agua y entrar en el aire, como muestra la figura. Al cambiar de dirección, los rayos pueden penetrar en vuestros ojos.





OBSERVAR EL OLEAJE



Gracias a los satélites, los científicos han logrado estudiar la génesis de las olas y su movimiento. Los datos se utilizan para estudiar el clima de la Tierra y salvar vidas en el mar.



Desde su órbita, a unos 800 km de altura por encima del Atlántico norte, el satélite ERS-2 envía microondas a la superficie de los océanos del globo terrestre. Estos impulsos, que se reflejan 20 veces por segundo, permiten al satélite calcular la distancia a la superficie del mar, la altura de las olas y la velocidad de los vientos superficiales. El ERS-2 es el segundo satélite europeo de teledetección (Remote Sensing).

Los satélites de teledetección recogen y registran informaciones sobre la superficie de la tierra y del mar, sin ningún contacto efectivo con éstos.

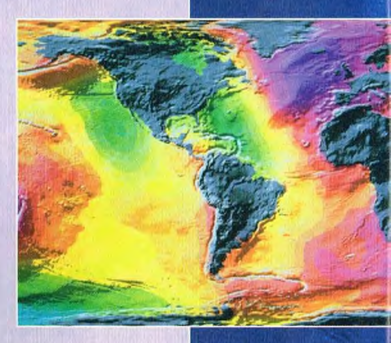
El ERS-2 fue lanzado desde la Guayana Francesa el 21 de abril de 1995 para flanquear el ERS-1, ya en órbita desde hacía cuatro años. El ERS-2 es el cuarto satélite capaz de hacer un seguimiento preciso de la superficie de los océanos. El primer satélite oceánico, el Seasat de la NASA, lanzado en 1978, observaba más del 95% de los océanos del globo cada 36 horas y en un solo día conseguía realizar medidas que en épocas anteriores habrían requerido decenios de investigación. Por desgracia, este satélite se averió después de sólo tres meses de actividad.

En 1992, Francia y Estados Unidos lanzaron el satélite Topex/Poseidon, cuya misión era el trazado de mapas de la circulación oceánica durante un tiempo prolongado.

DATOS

ERS-2 SATÉLITE EUROPEO DE TELEDETECCIÓN

Lanzamiento: 21 de abril de 1995
Vehículo lanzador: Ariane 4
Tamaño: 1,8 x 1,4 x 2,3 m; longitud paneles solares: 11,8 m; longitud antena radar: 10 m
Peso: 2,5 toneladas
Órbita: polar, circular a 780 km de altura
Instrumentos principales: radar altimétrico (para cartografiar la superficie del mar); un difusómetro (para medir la superficie marina, así como la velocidad y la dirección del viento); un radar de apertura sintética (para imágenes de alta resolución de la superficie marina); instrumentos para la determinación de la concentración de ozono, sonda de microondas



A la derecha, la fotografía muestra el nivel medio de los mares en distintas regiones. Los niveles marinos más altos se representan de color púrpura. Se pasa luego al rojo, anaranjado, amarillo, verde y azul. Los datos han sido tomados desde latitudes superiores a los 70°, cerca de los polos. El radar altimétrico del ERS mide la distancia entre el satélite y la superficie oceánica, y puede suministrar mapas de la topografía del nivel del mar.

UNA SUPERFICIE IRREGULAR

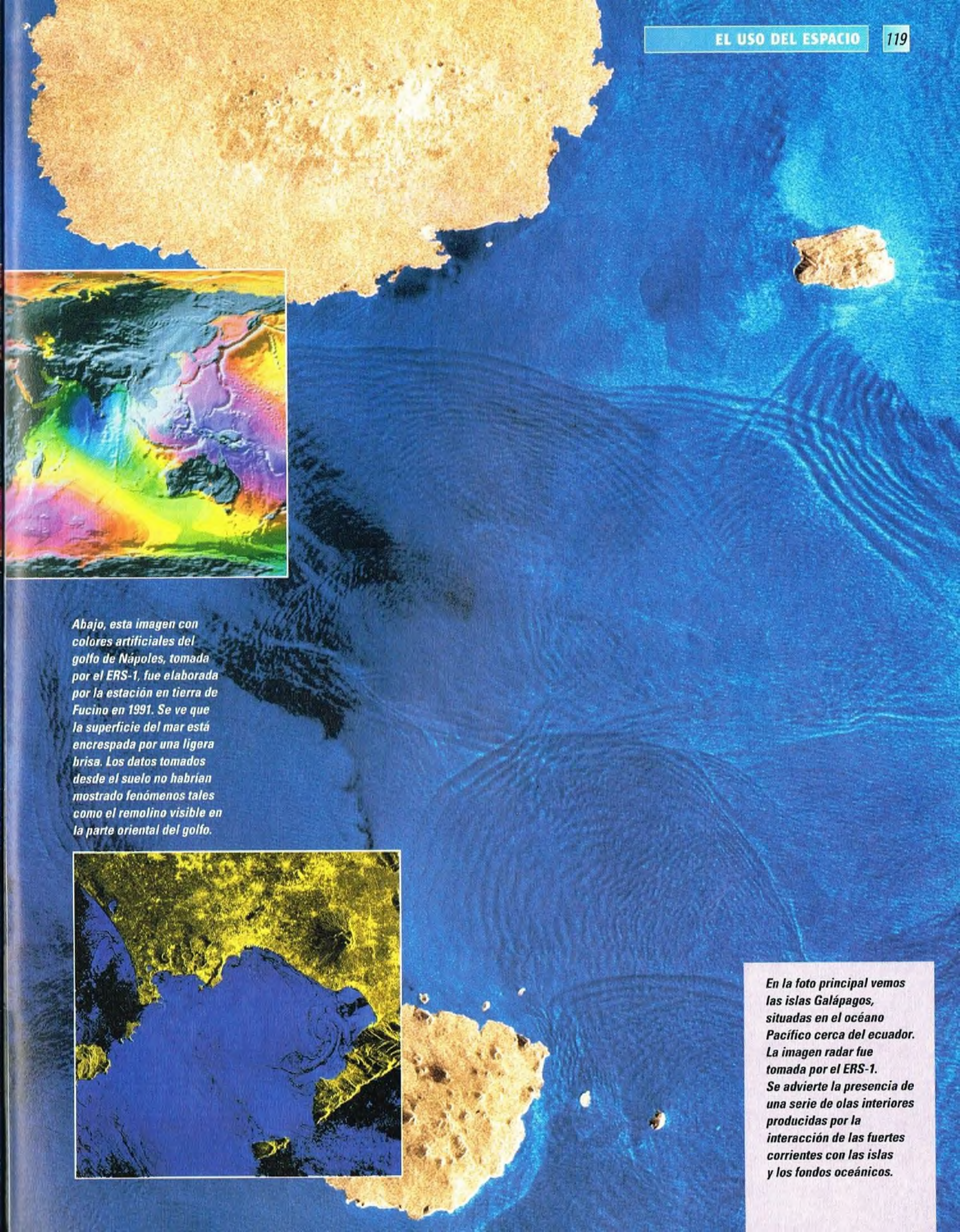
Las mediciones realizadas por los satélites muestran que la topografía, es decir, el mapa superficial de los océanos, es bastante complicada. Como el agua tiende a nivelarse, se pensaba hasta hace poco tiempo que la superficie de los mares del globo no presentaría variaciones. Hoy sabemos que esto no es así: las mareas, las corrientes y la rotación terrestre son algunas de las fuerzas naturales que contribuyen a alterar la topografía oceánica. Estos factores crean relieves y depresiones análogos a los que se encuentran en los modelos meteorológicos. De la misma forma que los meteorólogos usan las zonas de alta y baja presión para crear mapas de la circulación de las masas de aire, los oceanógrafos utilizan las irregularidades del nivel del mar para trazar mapas de las corrientes oceánicas.

Las mediciones realizadas por los satélites revelan las variaciones locales del nivel del mar que reflejan la topografía del fondo oceánico, caracterizado por la presencia de cadenas montañosas y valles ocultos por la superficie del agua.

PREVISIONES CLIMÁTICAS

Los científicos están interesados en el estudio de la superficie oceánica debido al impacto que tienen los océanos sobre el clima de la Tierra. Los océanos cubren más del 70% de la superficie terrestre y actúan como un depósito que almacena la energía solar absorbida por nuestro planeta. Se calcula que los 1.350 millones de km^3 presentes en los océanos absorben casi el 75% de la energía solar.

La superficie del mar es el límite entre este vasto depósito de energía y la atmósfera. Su temperatura,

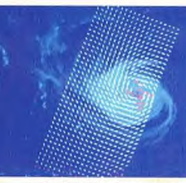


Abajo, esta imagen con colores artificiales del golfo de Nápoles, tomada por el ERS-1, fue elaborada por la estación en tierra de Fucino en 1991. Se ve que la superficie del mar está encrespada por una ligera brisa. Los datos tomados desde el suelo no habrían mostrado fenómenos tales como el remolino visible en la parte oriental del golfo.

En la foto principal vemos las islas Galápagos, situadas en el océano Pacífico cerca del ecuador. La imagen radar fue tomada por el ERS-1. Se advierte la presencia de una serie de olas interiores producidas por la interacción de las fuertes corrientes con las islas y los fondos oceánicos.



A la izquierda, el ERS-2 emite microondas hacia abajo para obtener información sobre el viento y las olas; envía los datos, recibidos en forma de eco, a las antenas de los centros de todo el mundo. Estos datos, sin embargo, también pueden ser captados por buques. El ERS-2 está controlado por el Centro de Darmstadt, en Alemania.



Arriba, esta imagen de un huracán, tomada en 1993, se obtuvo combinando datos del ERS-1 y de un satélite meteorológico. Las flechas indican la dirección y la velocidad del viento; las flechas rojas próximas al ojo del huracán indican una velocidad del viento superior a los 54 km/s.

así como la fuerza y la dirección de las corrientes oceánicas, los vientos y las olas, redistribuye la energía por todo el globo terrestre, influyendo en su clima. La creciente preocupación por el sobrecalentamiento de nuestro planeta convierte la superficie del mar en un tema vital. Antes incluso de que puedan manifestarse efectos climáticos, se presentarán sin duda alguna importantes variaciones del nivel del mar.

Para afrontar este problema, se puso en marcha en 1990 un programa, llamado World Ocean Circulation Experiment (WOCE), uno de cuyos principales objetivos es la creación de un modelo tridimensional de la circulación oceánica mundial. Buena parte de los datos utilizados por el WOCE proceden de satélites.

LA SUPERVIVENCIA EN EL MAR

Los satélites de teledetección oceanográfica elaboran también informaciones de interés para los navegantes. Los datos, constantemente actualizados, relativos a la fuerza y dirección de las corrientes oceánicas, los vientos y las olas, permiten determinar las rutas marinas a seguir o evitar. Las informaciones sobre las variaciones diarias de los vientos y el oleaje también son de gran importancia para las plataformas petrolíferas, que sólo pueden operar cuando la altura de las olas no supera un cierto nivel.



MEDICIÓN DE ALTURAS

Uno de los principales instrumentos de los satélites de teledetección oceanográfica es el radar altimétrico. Este aparato envía breves impulsos de microondas a la superficie del mar; midiendo el intervalo de tiempo entre el envío del impulso y su regreso en forma de eco es posible determinar con precisión la altura del satélite con respecto a la superficie. El radar altimétrico puede medir la altura con un margen de error inferior a 10 cm, lo cual permite elaborar mapas detallados del nivel del mar y de la topografía de su superficie. Analizando las señales reflejadas se obtienen también informaciones sobre el oleaje.

VIENTOS OCEÁNICOS

Para medir la velocidad y la dirección del viento se utiliza también otro tipo de radar, el medidor de reflexión o difusómetro. Este instrumento posee tres antenas que generan haces radar emitidos a ángulos de 45° hacia adelante, lateralmente y hacia atrás. Gracias a la reflexión radar, o retrodifusión, se pueden efectuar mediciones de la superficie del mar, y de la velocidad y dirección del viento a distintos ángulos.

Otro importante instrumento es el radar de apertura sintética (SAR), que puede sondear un área situada a una distancia de hasta 250 km a la derecha de la órbita del satélite. Puede determinar la energía, la longitud y la dirección de las olas y tomar imágenes de alta resolución de la superficie del mar hasta una distancia de 100 kilómetros.

FORMACIÓN DE LAS OLAS

El viento es el agente principal de la formación de olas, ya que éstas son más altas cuanto más fuerte y duradero es aquél y cuanto más larga es la distancia recorrida por la ola.
Los dos parámetros principales que caracterizan las olas son la velocidad y la longitud o distancia entre dos crestas. Una ola típica del Atlántico norte llega a los 100 m y se mueve a una velocidad de 65 km/h (35 nudos). En el Pacífico sur, donde las olas pueden viajar durante miles de kilómetros sin hallar obstáculos, la longitud media es de 300 m y la velocidad de 93 km/h (50 nudos).
La altura de las olas es bastante variable: desde casi cero hasta una media de 6 m sobre el nivel del mar. La combinación de una serie de olas con vientos huracanados y corrientes puede producir olas excepcionales, de hasta 34 m de altura.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

EL MOVIMIENTO DE LOS PLANETAS

ESTRELLAS Y GALAXIASS

POLVO DE ESTRELLAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

EL CISNE

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

EL ÁGUILA HA ATERRIZADO

EL USO DEL ESPACIO

A LA CAZA DE TESOROS

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

7



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

EL MOVIMIENTO DE LOS PLANETAS

Los planetas se conocen desde hace miles de años, pero sólo cuando los griegos empezaron a preguntarse cuáles eran las causas de su movimiento comenzaron a desvelarse los misterios de los cambios de sus posiciones en el firmamento.

Casi todos los antiguos astrónomos mostraron un gran interés por el movimiento de los planetas. Hacia el 400 a.C. empezaron a observarse y a registrarse en tablillas de arcilla los movimientos de todos los planetas visibles a simple vista, precisamente en la época en que los filósofos griegos empezaban a preguntarse no sólo cómo sino también por qué los planetas se movían por el cielo.

ESFERAS DE CRISTAL

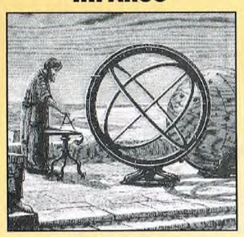
Ya en el siglo VI a.C., Pitágoras postuló la hipótesis de que la Tierra no era plana, sino esférica. Más tarde, el filósofo griego Aristóteles (384-322 a.C.) atribuyó un significado religioso al concepto de esfera perfecta. Aseguraba que el universo consistía en unas esferas concéntricas de cristal sobre las cuales estaban situados los planetas, con la Tierra en el centro. En el exterior se encontraba la esfera de las estrellas fijas, perfecta e inmutable.

Según este modelo, había siete planetas, porque cualquier objeto celeste que se moviese de manera independiente

Según la mitología griega, Atlas fue condenado a llevar sobre sus espaldas el peso de todo el universo. Los astrónomos griegos pensaban correctamente que la Tierra tenía forma esférica, pero la situaban erróneamente en un universo constituido por esferas de cristal en rotación.

PERSONAJES

HIPARCO



C. 190 - 120 a.C.

Hiparco sentó las bases de la astronomía de observación. Entre sus múltiples méritos cabe citar la invención de la escala de magnitudes estelares todavía utilizada hoy, la compilación del primer catálogo de estrellas, reemprendida después por Tolomeo, y el descubrimiento de la precesión. Midió las posiciones de los planetas utilizando círculos graduados a 360°, un sistema inventado por los babilonios. En cambio, el tiempo lo medía con relojes basados en el ritmo de la caída de gotas de agua. Con unos dispositivos tan sencillos, logró evaluar la distancia a la Luna y al Sol, con unos resultados notables. Fue el primero en comprender que la distancia al Sol era del orden de millones de kilómetros. Midió la distancia a la Luna con un error de sólo el 11%.

de las estrellas fijas era considerado un planeta. Por lo tanto, además de Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, también el Sol y la Luna se consideraban planetas. La Tierra era el centro del universo. En aquella época, los asteroides y los planetas Urano, Neptuno y Plutón eran desconocidos, dado que su luz es demasiado débil para poderlos ver a simple vista.

Hoy en día, las cosas se contemplan de manera muy diferente, pero los astrónomos modernos todavía aprecian en los antiguos filósofos griegos que crearan las bases del moderno pensamiento científico al tratar de explorar y descifrar los mecanismos del universo. También los babilonios y otros pueblos antiguos se dedicaron al estudio de los cuerpos celestes, pero no profundizaron en este campo.

Un pensador griego que estudió exhaustivamente los planetas fue Hiparco, que vivió entre los años 190 y 120 a.C. Fue un verdadero astrónomo, ya que efectuaba personalmente observaciones detalladas e intentaba después sacar conclusiones de lo que había visto. Mucho tiempo después, sus trabajos los reemprendió y amplió otro filósofo griego, Claudio Tolomeo (127-145 d.C.), que propuso su propio sistema de círculos para explicar los movimientos de los planetas (véase el esquema en la pág. 124).

LOS SIGLOS DE OSCURIDAD

Después del colapso del Imperio romano a finales del siglo IV d.C., Europa se sumió en una etapa que se caracterizó por una regresión económico-cultural y una gran inestabilidad política. Durante los 800 años que siguieron, las verdaderas capitales de la cultura fueron Bagdad y Damasco, en lugar de Atenas o Roma.

En Europa, a principios del Renacimiento, la Iglesia no favoreció, sino que más bien obstaculizó, la difusión de los estudios sobre el mundo natural y prefirió promover el conocimiento de temas metafísicos. En lo referente a la astronomía, la Iglesia adoptó el sistema aristotélico, revisado después por Tolomeo, que suponía la Tierra situada en el centro del universo, a pesar de que presentaba grandes errores en la previsión de las posiciones de los planetas, unos errores extremadamente difíciles de justificar.

LA REVOLUCIÓN COPERNICANA

Uno de los estudiosos que se dedicó a analizar los errores del sistema de Tolomeo fue Niklas Koppernigk (1473-1543), más conocido como Nicolás Copérnico, que efectuó numerosas observaciones de los planetas y dedujo que la Tierra debía considerarse como un planeta más. En consecuencia, concibió una teoría audaz para su época: en el centro del sistema solar tenía que encontrarse el Sol en lugar de la Tierra.

Sin embargo, según esta teoría, los planetas se movían siguiendo órbitas circulares en lugar de elípticas, como sabemos hoy, lo cual no permitía casar bien las posiciones de los planetas observadas en el cielo con las previstas por aquella teoría.

UN UNIVERSO IMPERFECTO

En 1572 ocurrió un fenómeno astronómico que ayudó a superar la teoría aristotélica según la cual la esfera sobre la que estaban fijadas las estrellas era perfectamente inmutable: en la constelación de Casiopea apareció un objeto «nuevo» y extremadamente luminoso. Los astrónomos midieron su posición y descubrieron que era fijo y que, en consecuencia, no podía tratarse de un planeta.

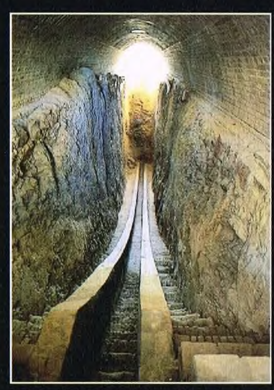
Esta nueva estrella, que demostró el continuo cambio del cielo estrellado, fue observada por el astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601), cuya habilidad para medir la posición de las estrellas en la bóveda celeste era insuperable.

En 1577, Brahe observó también un cometa entre las imaginarias esferas de cristal, cuyo movimiento lo llevaba a cortar inexplicablemente estas esferas. A continuación, Brahe propuso su complicado sistema de movimientos planetarios, en el que todos los planetas, excepto la Tierra, giraban alrededor del Sol, el cual, a su vez, orbitaba alrededor de la Tierra. Con este sistema, el astrónomo





A la izquierda, un manuscrito árabe del siglo XIV, que representa a algunos astrónomos midiendo la posición de las estrellas con un astrolabio. Durante unos 800 años, los centros del saber estuvieron en Oriente. Allí, los textos griegos fueron traducidos al árabe, y los astrónomos orientales prosiguieron el estudio de la astronomía durante el Medioevo europeo.



Arriba, esta inmensa construcción es un sextante con un arco de 63 m, que mandó construir Ulug Beg en el siglo XV para su observatorio de Samarcanda, en Uzbekistán, y atestigua la importancia que tenía la astronomía en el mundo islámico de la época.

danés pensó que era posible formular un modelo mejor que el de Copérnico.

UN MODELO HELIOCÉNTRICO

Brahe murió antes de poder probar su teoría, pero dejó las mediciones precisas que había efectuado a su discípulo, Johannes Kepler (1571-1630). Kepler se dio cuenta de que era posible interpretar estos datos de una manera más correcta. En efecto, además de sostener que la Tierra también formaba parte de los planetas que orbitaban alrededor del Sol, afirmó que las órbitas de los planetas no eran circulares, sino elípticas, es decir, semejantes a círculos ligeramente aplastados.

Las órbitas calculadas por Kepler explicaban perfectamente los movimientos de los planetas, pero hasta 1610, con el empleo del anteojo de Galileo, no se pudieron aportar otras pruebas que demostraran que la nueva teoría era

ASÍ SE EXPLICABA EL MOVIMIENTO DE LOS PLANETAS

El modelo geocéntrico del universo (es decir, con la Tierra situada en el centro de la esfera celeste) propuesto por los griegos requería una explicación de las anomalías observadas en el movimiento de los planetas. Algunos de ellos parecían quedar periódicamente fijos en el cielo e incluso efectuar recorridos al revés (movimiento retrógrado, o sea, en sentido contrario al normal). Para explicar esto, Tolomeo propuso que cada planeta no se movía alrededor de la Tierra describiendo un círculo uniforme, sino un círculo más pequeño llamado epiciclo, cuyo centro se movía a su vez alrededor de la Tierra sobre otro círculo llamado deferente. La disposición exacta de estos círculos provocó largas discusiones.

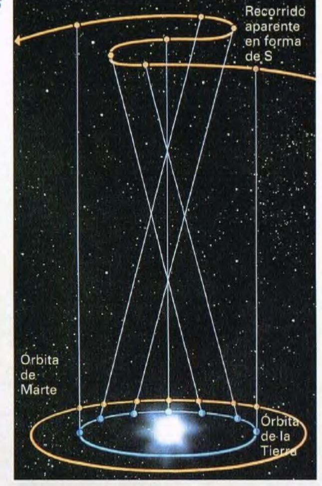
Este complicado sistema resultó superfluo cuando Copérnico propuso su propio modelo heliocéntrico, en el que el Sol estaba situado en el centro del universo. Sin embargo, las previsiones de las posiciones de los planetas se mostraban todavía poco precisas, por lo que se necesitaba un modelo mejor.

Fue Johannes Kepler quien descubrió que los planetas se mueven alrededor del Sol según órbitas elípticas. Además, gracias al estudio del movimiento de Marte, se dio cuenta de que los planetas se desplazan por sus órbitas a velocidades diferentes: cuanto más cerca están del Sol, mayor es la velocidad con que giran a su alrededor.

Epiciclo

Deferente

Antiguo modelo del universo que utilizaba epiciclos y deferentes para explicar las irregularidades del movimiento de Marte.

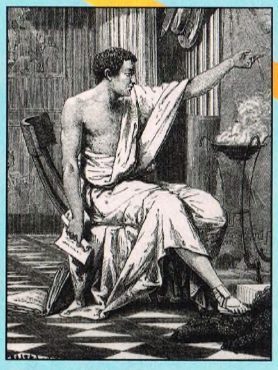


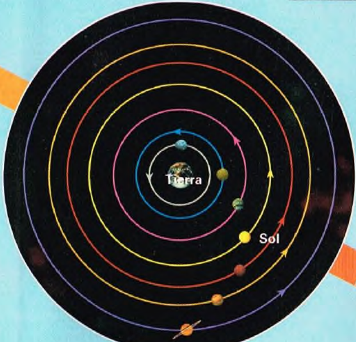
Arriba, visto desde la Tierra, el desplazamiento de Marte por el cielo parece efectuar una desviación retrógrada en forma de S porque, al estar más alejado del Sol que la Tierra, ésta lo «rebasa» a lo largo de las respectivas órbitas.

EL MOVIMIENTO DE REVOLUCIÓN DE LOS PLANETAS

Los astrónomos de la Antigüedad necesitaron casi 2.000 años para identificar los movimientos orbitales correctos de los planetas. El modelo geocéntrico, propuesto en el siglo IV a.C. por Aristóteles, permaneció vigente durante más de 1.500 años. Después, Tolomeo y Tycho Brahe sugirieron varios sistemas de círculos para explicar los movimientos anómalos de algunos planetas. Pero, finalmente, se adoptó el sistema heliocéntrico copernicano, perfeccionado después por Johannes Kepler.









ARISTÓTELES (384-322 a.C.)
EL MODELO GEOCÉNTRICO

Tal era el prestigio de Aristóteles, que su idea de un universo geocéntrico dominó la astronomía durante más de 1.500 años. Consideró el círculo y la esfera como formas perfectas e inmutables, lo cual se reflejó en su concepción del universo, basada en esferas de cristal en rotación sobre las que estaban situados los planetas que orbitaban alrededor de la Tierra. También las estrellas estaban situadas sobre una esfera hueca, fijadas a ella como gemas engarzadas en su superficie interna.





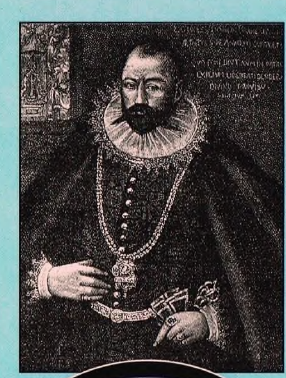
TOLOMEO (127-145 d.C.)
EPICICLOS Y DEFERENTES

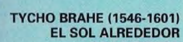
Tolomeo propuso (s. II d.C.) un nuevo sistema geocéntrico para superar los problemas del modelo aristotélico, que no lograba explicar el movimiento retrógrado de algunos planetas. Postuló que cada planeta (incluido el Sol) se movía a lo largo de un breve recorrido circular mientras efectuaba su movimiento de revolución alrededor de la Tierra.

COPÉRNICO (1473-1543)
UN UNIVERSO HELIOCÉNTRICO

En el siglo XVI, Nicolás Copérnico, un miembro del clero polaco, propuso un modelo del universo con el Sol en el centro, pero topó con la oposición de la Iglesia, que retrasó la publicación de su teoría hasta poco antes de su muerte, en 1543. Copérnico afirmaba que los planetas se movían alrededor del Sol describiendo órbitas circulares y que su movimiento irregular se debía al hecho de que la Tierra no se encontraba en el centro del universo. Todas las obras escritas por Copérnico fueron condenadas por la Iglesia católica en el año 1616.

Sol
Tierra





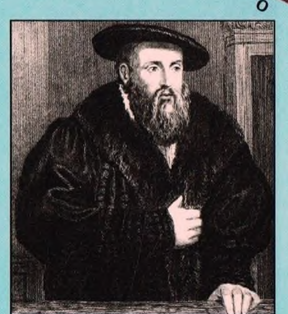
TYCHO BRAHE (1546-1601)
EL SOL ALREDEDOR DE LA TIERRA

A finales del siglo XVI, Tycho Brahe desarrolló un modelo de compromiso que superaba las objeciones expresadas por la Iglesia en contra del sistema heliocéntrico del universo. En él, el investigador sostenía que todos los planetas, excepto la Tierra, giraban alrededor del Sol y que, a su vez, éste orbitaba alrededor de la Tierra, que estaba fija. Además, observando la supernova de 1572, Brahe se dio cuenta de que la imaginaria esfera sobre la que se encontraban las estrellas no era inmutable en el tiempo.



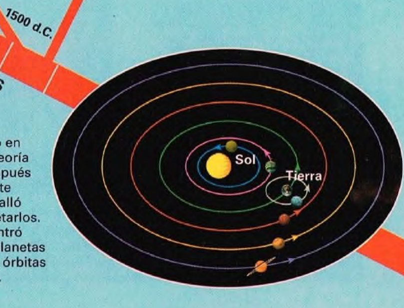
300 d.C. 500 d.C. 700 d.C. 900 d.C. 1100 d.C. 1300 d.C. 1500 d.C.

SIGLOS OSCUROS



KEPLER (1571-1630)
ÓRBITAS ELÍPTICAS

Johannes Kepler, un discípulo de Tycho Brahe, fue el primero en comprender los errores de la teoría propuesta por su maestro. Después de haber estudiado atentamente los datos dejados por Brahe, halló un sistema mejor para interpretarlos. A principios del siglo XVII encontró la solución del problema: los planetas orbitaban alrededor del Sol en órbitas elípticas en lugar de circulares.





Arriba, una esfera armilar del siglo XVII, parecida a la que presumiblemente utilizó Tolomeo para demostrar su teoría. La Tierra está situada en el centro, representada por una bola de malaquita verde, rodeada de esferas en rotación que simulan las órbitas de los planetas.

la correcta. Por lo tanto, Copérnico y Kepler dejaron como herencia a sus sucesores un sistema solar en el que la Tierra perdía su privilegiada posición central a favor del Sol.

LAS LEYENDAS DE LOS PLANETAS

El origen del interés por la astronomía se remonta a las creencias astrológicas, según las cuales el poder de las estrellas y los planetas influye en nuestras vidas sobre la Tierra. Estos estudios sobre los fenómenos celestes condujeron a algunas observaciones de los planetas muy precisas, en una época en que todavía se desconocía el telescopio. Según estas creencias, cada planeta tenía su carácter peculiar, que correspondía al del dios del cual tomaba el nombre; en los tiempos de los antiguos griegos, los nombres de los planetas eran diferentes de los que se utilizan hoy, que son traducciones de los nombres latinos que empleaban los antiguos romanos.

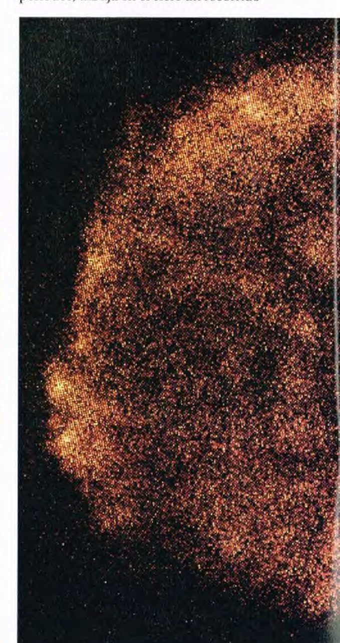
EL VELOZ MERCURIO

En la mitología griega, Mercurio era el veloz mensajero de los dioses, de carácter vivaz e inteligencia despierta y aguda. Los antiguos astrónomos también atribuyeron estas características al planeta, bautizado con el nombre del dios debido a su rápido movimiento en el firmamento. En efecto, Mercurio, el más cercano al Sol de todos los planetas, completa una órbita en apenas tres meses. Por esto, algún mes, lo podemos observar en el cielo crepuscular cuando se pone poco después del Sol, mientras que cinco semanas más tarde aparece en oriente poco antes de la salida del Sol, después de haber pasado entre nosotros y nuestro astro. Su viaje alrededor del otro lado del Sol necesita unas siete semanas.

AMOR Y GUERRA

La intensidad y la pureza de la blanca luz de Venus han hecho que este planeta haya estado siempre asociado con la belleza y el amor. Para los romanos, era la espléndida y fascinante diosa del amor, que los griegos conocían con el nombre de Afrodita.

Por el contrario, desde tiempos muy remotos, Marte era conocido como el planeta de la guerra, porque los pueblos antiguos, convencidos de que los acontecimientos que tenían lugar en la Tierra estaban ligados a los planetas, asociaban su color rojizo a la sangre. En realidad, el color de su superficie se aproxima más al anaranjado pálido, pero para la ardiente imaginación de nuestros antepasados, era realmente rojo y, por lo tanto, siniestro portador de desventuras. También hay que tener en cuenta su insólita órbita, que, en determinados períodos, dibuja en el cielo un recorrido



¿POR QUÉ NO NOTAMOS QUE LA TIERRA SE MUEVE?

Una de las objeciones planteadas en contra de la teoría copernicana de una Tierra orbitando alrededor del Sol era el hecho de que no nos apercibimos de este movimiento. La mejor manera de explicar este fenómeno es compararlo con el movimiento de un tiovivo volante. Estando en una cabina de un tiovivo volante, no nos asusta la velocidad a la que nos movemos hasta que la cabina cambia de dirección o acelera inesperadamente. El estremecimiento que experimentamos no se debe al movimiento en sí mismo, sino a su variación. Lo mismo sucede con el movimiento de rotación de la Tierra alrededor del Sol, cuya velocidad media es de 30 km/s, sin frenazos ni acelerones bruscos. Por este motivo tampoco nos damos cuenta de que la Tierra gira sobre sí misma en 24 horas.



La Tierra orbita alrededor del Sol a una velocidad casi constante, a diferencia de los tiovivos volantes, que cambian bruscamente de dirección y velocidad para hacer más emocionante el movimiento.

en forma de S; actualmente se habla de movimiento retrógrado.

MOVIMIENTOS LENTOS

El movimiento de Júpiter respecto a la bóveda celeste es bastante más lento que el de Marte, porque tarda más de 11 años en volver al mismo punto de su órbita. Además, cada año efectúa un recorrido retrógrado.

El movimiento de Saturno a lo largo de su órbita es todavía más lento: tarda casi 30 años en completar una órbita entera. También Saturno efectúa un recorrido retrógrado una vez al año, aunque sólo se mueve hacia atrás seis grados, antes de proseguir de nuevo hacia el este.

LA INFLUENCIA DE LA LUNA

Mucho antes de que los griegos empezasen a estudiar el cielo, las sociedades primitivas ya habían observado el ciclo de la Luna. Algunas antiguas construcciones, como el conjunto de Stonehenge en Inglaterra, se construyeron probablemente alrededor del año 4.000 a.C. como observatorios para seguir el movimiento aparente del Sol, la Luna y los otros cuerpos celestes, para el registro de las estaciones y la medida del tiempo. Las torres de los sumerios, los zigurats, eran quizá observatorios, mientras que en los templos de las civilizaciones precolombinas de América del Sur se celebraban ritos en los que el Sol y la Luna eran adorados como dioses.



Arriba, Saturno es el más lejano y lento de los planetas visibles a simple vista que fue observado por los antiguos astrónomos. Emplea casi 30 años en completar su órbita alrededor del Sol. El término «saturniano» deriva del cansino y triste movimiento de este planeta. La influencia de las primeras observaciones sobre nuestro vocabulario son bastante numerosas.



A la izquierda, la supernova de Tycho Brahe, conocida como SNR 1572, es todo lo que queda de una supernova identificada por este astrónomo en 1572 en la constelación de Casiopea. La explosión de esta estrella llevó a Tycho Brahe a dudar de la antigua teoría griega que afirmaba que las estrellas eran fijas e inmutables.

Arriba, desde la Tierra se puede ver fácilmente el planeta Mercurio cuando pasa por delante del disco solar. Este fenómeno pudo haber sido observado por los antiguos astrónomos hace más de 2.000 años. Desde nuestra situación, Mercurio sólo pasa por delante del Sol, tal como se ve en la fotografía, 13 veces cada siglo.

POLVO DE ESTRELLAS

El espacio entre las estrellas no está vacío, sino lleno de gases y polvo que forman increíbles nubes interestelares.





En las noches oscuras y serenas, la Vía Láctea forma un arco luminoso que atraviesa toda la bóveda celeste. Su débil y difusa luminosidad es la suma de las luces de los millones de estrellas que vemos cuando miramos hacia las regiones más densas de nuestra Galaxia. Sin embargo, la franja luminosa de la Vía Láctea está interrumpida por bandas y manchas oscuras, en cuyo interior no es visible ninguna estrella. En otro tiempo, los astrónomos pensaban que eran «agujeros en el cielo» en los que había pocas estrellas, pero ahora sabemos que son enormes nubes de polvo opaco que absorben la luz emitida por las estrellas que hay detrás de ellas.

¿DÓNDE ESTÁ EL POLVO?

Todas las galaxias espirales contienen gas y polvo interestelares y, de hecho, las galaxias vistas de lado muestran a menudo una banda oscura de polvo que las atraviesa por el centro, mientras que vistas frontalmente revelan brillantes nubes de gas, distribuidas a lo largo de sus brazos espirales.

Si se observa nuestra Galaxia a simple vista o con un telescopio óptico, puede verse dónde se encuentran las nubes de gas luminoso y dónde, en cambio, el polvo absorbe la luz. Gracias a la radioastronomía y a los telescopios de infrarrojos, se han podido obtener más informaciones, porque, a diferencia de la luz visible, las radioondas y las radiaciones infrarrojas no son absorbidas por el polvo cósmico.

RADIACIÓN BRILLANTE

Vista al infrarrojo, la Vía Láctea tiene un aspecto exactamente opuesto al observado con luz visible. En efecto, la mayor parte de la radiación infrarroja

Arriba, a la izquierda, esta imagen de una parte de la nebulosa del Águila, tomada por el telescopio espacial Hubble, ha revelado por primera vez las columnas de hidrógeno gaseoso frío y de polvo interestelar que parecen lúgubres y tenebrosos pilares. El pilar más alto, el de la izquierda, mide aproximadamente un año luz desde la base hasta la cima. En el interior de estas columnas de gas y polvo hay pequeños glóbulos de gas todavía más densos, donde se forman los embriones de las estrellas.

Arriba, a la derecha, la nebulosa del Águila (M16), en la constelación de la Serpiente, está a unos 7.000 años luz de la Tierra. Esta brillante nebulosa contiene enormes cantidades de hidrógeno gaseoso que emiten una luz rosada.

procede de las nubes de polvo oscuro, que emiten energía cuando la luz de las estrellas las calienta.

Se cree que el polvo se forma en las frías capas exteriores de gas de las estrellas gigantes rojas, próximas al final de su existencia, en las que diminutas partículas de materia sólida se condensan a partir de los gases. Al final, estas estrellas moribundas expulsan sus capas exteriores al espacio interestelar. Todavía no se ha determinado con certeza la composición de este polvo, aunque se supone que los componentes más comunes son el grafito y varios tipos de silicatos y que aproximadamente el uno por ciento de la materia interestelar está compuesta por polvo.

EL GAS MÁS COMÚN: EL HIDRÓGENO

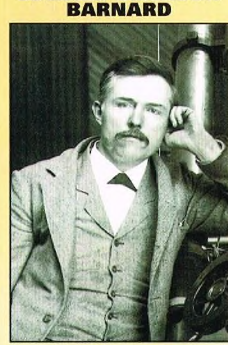
El hidrógeno es el elemento químico más abundante en el universo. A pesar de ser invisible a simple vista, este gas puede ser detectado con radiotelescopios, porque emite radioondas características de 21 cm de longitud de onda. Gracias a las observaciones de estas

DE ESTRELLA A CENIZAS

Cuando se acerque al final de su existencia, también nuestro Sol se convertirá en una estrella gigante roja. En el dibujo se muestra la fase final de la vida de una gigante roja normal, que termina con la violenta expulsión de sus capas de gas más exteriores, en un lapso de tiempo que puede durar millones de años. Deja sólo un pequeño núcleo en forma de enana blanca. Iluminada por la luz emitida por la enana blanca que brilla en su centro, esta enorme masa de gases constituirá el material de partida de una siguiente generación de estrellas.

PERSONAJES

EDWARD EMERSON BARNARD



1857 - 1923

Edward Barnard fue uno de los primeros astrónomos en comprender que en el espacio había enormes nubes de materia interestelar y también fue uno de los más válidos pioneros de la fotografía astronómica. Por ejemplo, la nebulosa de reflexión que rodea el cúmulo estelar de las Pléyades, en Tauro, fue identificada por primera vez en una fotografía tomada por Barnard en 1883. Además, compiló el primer catálogo importante de nebulosas oscuras, publicado en 1919. Barnard procedía de una familia modesta con pocos medios económicos y se crió en Nashville, en Tennessee (Estados Unidos). A pesar de no haber recibido una formación académica regular, logró convertirse en un profesor de astronomía de fama mundial y enseñó en la Universidad de Chicago. Después de Galileo, fue el primer observador que descubrió una luna de Júpiter, que bautizó con el nombre de Amaltea.

emisiones, los radioastrónomos han confeccionado un mapa de los brazos espirales de la Galaxia, donde se concentra la mayor parte del hidrógeno.

Aunque el gas llena casi todo el espacio interestelar, está muy enrarecido: sólo un átomo en un volumen de 10 cm³ e incluso de 100 cm³. Sin embargo, dado que el espacio interestelar es inmenso, existe una enorme cantidad de este gas. Algunas nubes son calientes, con temperaturas que pueden llegar a 7.500 °C; en algunos casos muy raros, esta temperatura puede ser elevadísima, del orden de un millón de grados. Estas nubes de gas tan caliente se han descubierto mediante los rayos X que las nubes emiten cuando están a unas temperaturas tan elevadas.

También existen nubes de hidrógeno más densas, que presentan de 10 a 100 átomos por cm³. Estas nubes son mucho más frías, con temperaturas de hasta –200 °C.

HIDRÓGENO BRILLANTE

La radiación procedente de las estrellas calientes próximas a las nubes provoca la emisión de luz visible rosada por parte del hidrógeno. En efecto, cuando un átomo de hidrógeno absorbe la luz ultravioleta emitida por una estrella, su único electrón se desliga de su protón. Este proceso recibe el nombre de ionización. Luego, cuando el electrón vuelve a enlazarse con el protón para formar un átomo completo, libera en forma de luz visible el exceso de energía absorbida

TIPOS DE NEBULOSA

Las nebulosas se clasifican según su comportamiento frente a la luz: nebulosas de emisión, de reflexión y oscuras.

Abajo, la nebulosa Laguna, en Sagitario. Las nebulosas de emisión son las más corrientes.



anteriormente, con un color que depende de la cantidad de esta última. Entonces, la nube se hace luminosa.

NUBES DE GAS

Los astrónomos llamaban nebulosa a cualquier objeto que no fuese una estrella y se asemejase a una mancha de luz difusa. Más tarde, gracias al empleo de telescopios más potentes, se descubrió que, en realidad, muchas de las llamadas nebulosas eran cúmulos estelares o galaxias. Actualmente, el término «nebulosa» sirve para indicar una verdadera nube de gas y/o de polvo. Existen tres tipos de nebulosas: las nebulosas de emisión, las de reflexión y las oscuras.

Las nebulosas de emisión son las más brillantes, constituidas principalmente por hidrógeno y capaces de emitir luz propia. En las fotografías aparecen de color rosado, porque gran parte de la luz que emite el hidrógeno es rojiza. Se encuentran en las proximidades de los cúmulos estelares que contienen estrellas jóvenes y calientes. Una de las nebulosas de

DATOS	NEBULOSAS DE EMISIÓN		
NEBULOSA	CONSTELACIONES	DISTANCIA DESDE LA TIERRA EN AÑOS LUZ	DIÁMETRO EN AÑOS LUZ
ÁGUILA	Serpiente	7.000	20
LAGUNA	Sagitario	4.500	30
OMEGA	Sagitario	5.000	30
ORIÓN	Orión	1.500	16
ROSETA	Unicornio	4.500	30
TRÍFIDA	Sagitario	3.000	12

emisión más conocida es la nebulosa de Orión, a 1.500 años luz de la Tierra.

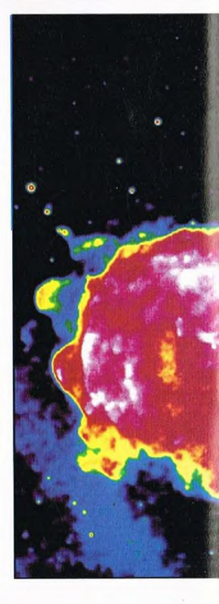
Las nebulosas de reflexión son nubes frías de polvo y gas que no emiten luz propia, sino que reflejan y difunden la luz emitida por las estrellas próximas. Normalmente, difunden una luz azul en lugar de roja, por lo que estos tipos de nebulosas aparecen azules para el observador. El cúmulo estelar de las Pléyades, en la constelación de Tauro, está rodeado de una nebulosa de reflexión que aparece de color blancoazulado en las fotografías.

NEBULOSAS OSCURAS

Las nebulosas oscuras, o de absorción, son nubes que contienen polvo que absorbe la luz. Aparecen como manchas oscuras entre las estrellas o se recortan contra el fondo de las nebulosas brillantes. La nebulosa Saco de Carbón es una gran nube oscura,



A la izquierda, la galaxia del Sombrero, M104, en Virgo. Es una galaxia espiral típica, en la que se distingue claramente la banda oscura de polvo que la atraviesa.





A la izquierda, una nebulosa de reflexión, en la constelación de Orión, difunde la luz emitida por las estrellas que la rodean. A la derecha, la nebulosa oscura Saco de Carbón, que se encuentra en el límite de las constelaciones de la Cruz del Sur y de la Mosca, absorbe la luz emitida por las estrellas que hay detrás de ella.



fácilmente visible en el cielo austral, que tiene el aspecto de una mancha circular sobre la Vía Láctea, cerca de la Cruz del Sur.

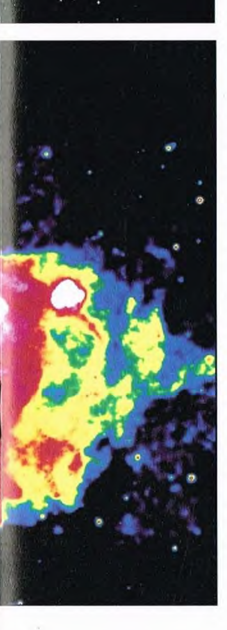
Desde finales de los años sesenta y durante los años setenta, los astrónomos descubrieron entre los espacios interestelares inmensas nubes en las que hay numerosas moléculas de varias sustancias químicas. Estas gigantescas nubes moleculares pueden contener una cantidad de materia equivalente a 10 millones de soles y tienen unas dimensiones de hasta 300 años luz. Se supone que en nuestra Galaxia existen unas 5.000. En las regiones del espacio a las que no llega la luz ultravioleta emitida por las estrellas (que podría ionizar los átomos), se pueden formar moléculas. Podemos reconocer los diferentes tipos de moléculas gracias a las radiaciones características emitidas por cada una de ellas. La mayoría de estas radiaciones están dentro del intervalo de longitudes de onda comprendido entre 10^{-4} y 10^{-8} mm.

Las nubes moleculares gigantes están compuestas principalmente por moléculas de hidrógeno y monóxido de carbono, pero se han identificado otros cien tipos de moléculas diferentes. La mayor parte de ellas están constituidas por varias combinaciones de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, como agua, amoniaco y alcohol etílico.

Las nuevas estrellas se forman a partir del gas presente en las nubes moleculares gigantes. En primer lugar se forman las estrellas más masivas y, cuando empiezan a brillar, la luz ultravioleta que emiten crea una esfera de hidrógeno gaseoso muy caliente y brillante. Así se desarrolla una nebulosa de emisión.

EL NIDO DEL ÁGUILA

La nebulosa del Águila, M16, en la constelación de la Serpiente, es un bello ejemplo de nebulosa de emisión que rodea un «criadero» de estrellas. Su nombre se deriva de la forma de la nube de gas brillante, que parece un enorme pájaro volando. En el centro de la nebulosa, que se encuentra a 7.000 años luz de la Tierra, hay un cúmulo de estrellas muy calientes y luminosas cuya edad es de sólo 2 millones de años. El telescopio espacial Hubble ha tomado imágenes muy detalladas de una región de la nebulosa del Águila, en la que se están formando estrellas nuevas. El telescopio se ha concentrado en unas largas columnas oscuras de polvo y gas llamadas por los astrónomos trompas de elefante. La luz ultravioleta emitida por las estrellas próximas está consumiendo lentamente estas columnas, según un proceso llamado fotoevaporación. De esta manera ven la luz masas ovales de gas todavía más denso, que permanecían ocultas en el interior de las propias columnas. Estas masas se designan como EGG, o sea, glóbulos gaseosos en evaporación. Al final del proceso, cuando la luz ultravioleta haya barrido sus capas exteriores, aparecerán nuevas estrellas.



A la izquierda, una estrella supergigante termina su existencia con una explosión de supernova, creando una espectacular nebulosa. Esta imagen de rayos X muestra los restos de una supernova en la constelación de la Vela.

RECICLAJE ESTELAR

La materia interestelar es reemplazada de varias maneras por los gases que emiten las estrellas. Muchas estrellas, incluido el Sol, pierden masa en forma de viento solar, aunque las estrellas más viejas pueden expulsar materia de una manera más violenta. Cuando las estrellas gigantes terminan su existencia, estallan en forma de supernovas, expulsando al espacio la materia que las constituye, excepto un núcleo de pequeñas dimensiones. De esta manera, la materia se «recicla» y nacen nuevas estrellas de las cenizas de las desaparecidas.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

NUBES DE POLVO EN LA GALAXIA

En las noches oscuras y sin Luna, a menudo es posible ver la Vía Láctea como una confusa franja luminosa que se extiende a través de toda la bóveda estrellada. En condiciones favorables de visibilidad, es posible distinguir grandes zonas oscuras de polvo interestelar.

A SIMPLE VISTA

Si se observan atentamente algunas zonas de la Vía Láctea, se podrá ver que está interrumpida por manchas y amplias franjas oscuras que parecen dividirla en dos partes distintas. Estas interrupciones son las zonas donde las densas nubes de gas y polvo absorben la luz de los millones de estrellas que se encuentran detrás de ellas. La mejor época del año para observar la Vía Láctea es entre julio y octubre, cuando es visible la parte que atraviesa las constelaciones de la Popa, la Vela, la Cruz del Sur, Escorpión, Sagitario, el Águila y el Cisne. La parte que es posible ver depende de la latitud en que se encuentre el observador. Además, la Vía Láctea también se puede ver de septiembre a febrero en las constelaciones de Casiopea, Perseo, Auriga y Orión.

EL CISNE

Las cinco estrellas que componen la constelación del Cisne forman la llamada Cruz del Norte (a la derecha en el dibujo y abajo en la fotografía).

La constelación del Cisne, que se recorta contra los densos cúmulos estelares de la Vía Láctea, alberga una de las radiogalaxias más notables de todo el universo.



El Cisne es una constelación imponente, visible en el cielo de junio. El cuerpo principal, a veces llamado Cruz del Norte por su disposición en la bóveda celeste, está formado por cinco estrellas. A diferencia de lo que sucede con la Cruz del Sur, que indica aproximadamente el polo Sur celeste, este grupo de estrellas no permite encontrar el polo Norte.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

La constelación del Cisne puede identificarse fácilmente buscando su estrella más brillante, Deneb, al oeste de la W de Casiopea, siguiendo la alineación de Beta y Gamma *Cassiopeiae*. Una vez localizada Deneb, se identifica fácilmente la Cruz del Norte y, a partir de ella, toda la constelación. Deneb es también uno de los vértices del Triángulo de verano, constituido por la luminosa Vega, en la constelación de la Lira, y Altair, en la constelación del Águila, así llamado porque vista desde el hemisferio norte domina las noches del verano, en que aparece en lo alto del cielo y ocupa la zona que va desde el cenit hacia el horizonte sur.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Como se ha dicho, Deneb (Alfa, magnitud 1,3), la cola, es la estrella más luminosa de la constelación: es un astro de color blanco. Albireo (Beta, magnitud 3,1), la cabeza, es una bella estrella doble, en la que la componente principal es de color amarillo, mientras que la secundaria (magnitud 5,1) es azulada. Visible con unos prismáticos, el sistema doble Ómicron está formado por una estrella anaranjada (magnitud 3,8) y una azul (magnitud 4,8). Con un telescopio se puede ver que la estrella más luminosa tiene una compañera azul de séptima magnitud. También es doble 61 *Cygni* (magnitudes 5,2 y 6), pero su importancia reside en el hecho de que fue la primera estrella de la que se midió la distancia a la Tierra, que resultó ser de 11 años luz.

OBJETOS DEL CISNE

El Cisne está situado en el plano de la Vía Láctea y, por tanto, ocupa una región celeste en la que existen numerosos objetos dignos de interés. Entre ellos, el más notable es *Cygnus* X-1, una fuente de rayos X bastante intensa, que se piensa tiene su origen en un agujero negro. Con un telescopio se descubren dos estrellas: una bastante compacta, que gira alrededor de otra muy expandida. La primera atrae materia de la segunda y los gases, antes de caer sobre la estrella compacta, forman un disco de temperaturas cada vez más elevadas, hasta el punto de emitir rayos X.

M29 y M39 son dos cúmulos abiertos, visibles con unos prismáticos, el primero en las cercanías de Sadr (Gamma, magnitud 2,3) y el segundo a unos 10° al este de Deneb.

El objeto más conocido de esta constelación es la nebulosa NGC 7000.



DÓNDE BUSCARLA

EL CISNE

La constelación del Cisne abarca una región del cielo comprendida entre 60° N y 28° N de declinación, y entre 19 horas 5 minutos y 22 horas de ascensión recta. Es íntegramente visible todo el año desde latitudes superiores a los 62° N y parte del año desde la zona situada entre 62° N y 30° S. Por debajo de 30° S nunca es íntegramente visible. Desde latitudes como la de España, se verá pasar Deneb, en verano, cerca del cenit a medianoche. Esta estrella se encuentra a mitad de camino entre el polo Norte y el ecuador celeste.

En las noches más oscuras es visible una franja opaca que parece cortar longitudinalmente la Vía Láctea. Esta franja empieza en el Cisne y llega hasta Ofiuco: es la hendidura del Cisne, una enorme nube oscura de polvo que impide la visión de las estrellas que hay detrás de ella.

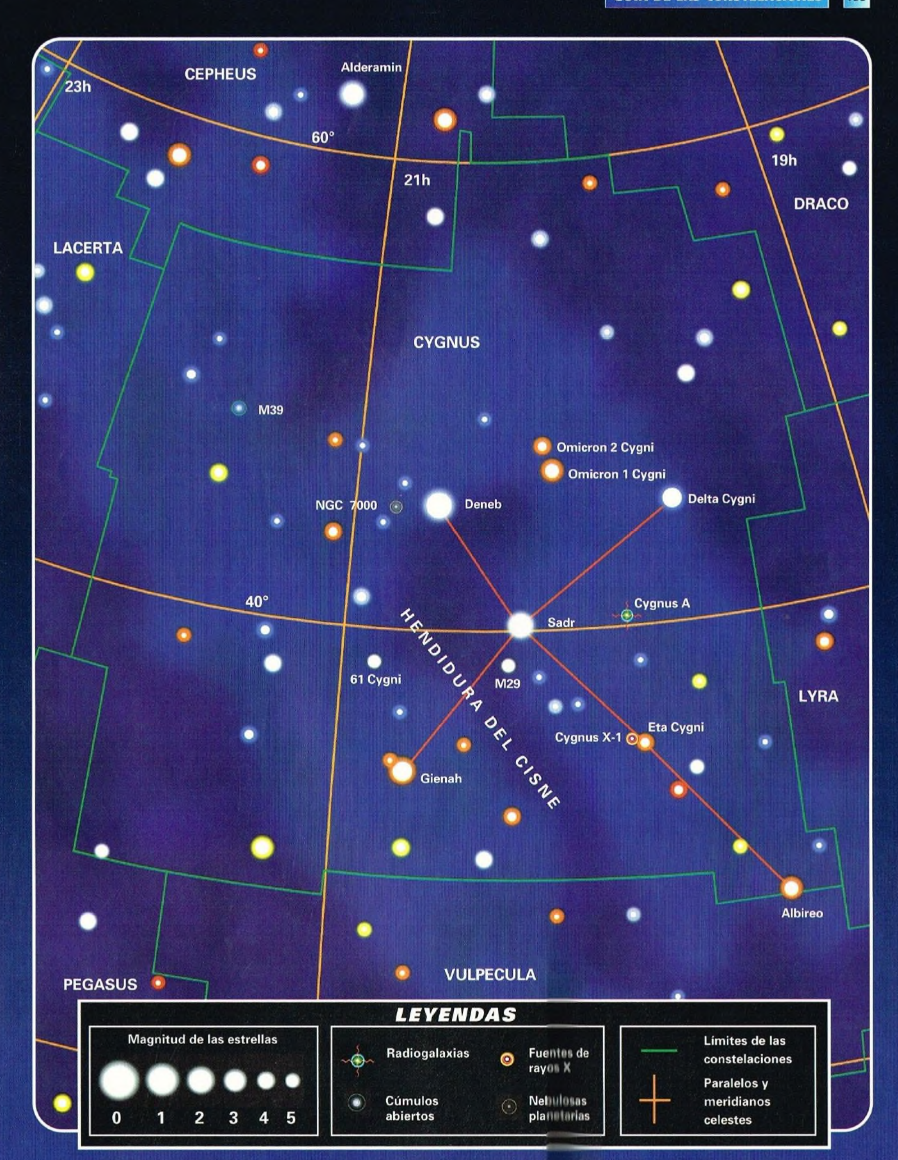




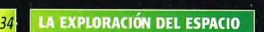
LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

EL CISNE

La constelación del Cisne está ligada al mito de Júpiter y Leda.
Un día, el dios, conocido por sus frecuentes devaneos amorosos, se encaprichó de Leda, la bellísima esposa de Tindareo, rey de Esparta. Como la mujer se resistía a los requerimientos amorosos del dios, Júpiter decidió vencer su resistencia transformándose en un cisne. Después de su unión con Júpiter, Leda parió dos huevos: de uno nacieron Cástor y Clitemnestra y, del otro, Pólux y Helena, la futura esposa de Menelao y causa de la guerra de Troya. También Cástor y Pólux están vinculados a una constelación: la de Géminis.



CEPHEUS
Alderamin
23h
60°
21h
19h
DRACO
LACERTA
CYGNUS
M39
Omicron 2 Cygni
Omicron 1 Cygni
NGC 7000
Deneb
Delta Cygni
40°
Cygnus A
Sadr
HENDIDURA DEL CISNE
61 Cygni
M29
LYRA
Eta Cygni
Cygnus X-1
Gienah
Albireo
VULPECULA
PEGASUS
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Radiogalaxias
Fuentes de rayos X
Cúmulos abiertos
Nebulosas planetarias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes



EL ÁGUILA HA ATERRIZADO

La misión Apolo 11 llevó al primer astronauta a la Luna. En julio de 1969, después de años de proyectos y de millones de dólares invertidos, la promesa del presidente John F. Kennedy de situar un hombre en la Luna y devolverlo a salvo a la Tierra fue, finalmente, una realidad.



«Houston, aquí Base de la Tranquilidad, el Eagle ha aterrizado». Estas palabras, pronunciadas por Neil Armstrong, el primer hombre que pisó la Luna, anunciaban uno de los acontecimientos más significativos del siglo xx. El 20 de julio de 1969, el módulo lunar estadounidense Eagle (Águila) se posó en la superficie de la Luna.

Para el programa Apolo, el aterrizaje sin problemas del Eagle marcó el punto culminante de 10 años de esfuerzos. La misión Luna estadounidense nació, en realidad, el 25 de mayo de 1961, cuando el presidente de Estados Unidos, John F. Kennedy, proclamó: «Creo que esta nación debe comprometerse a lograr, antes del fin de la década, el objetivo de

CÁPSULA ESPACIAL APOLO
En la parte superior del cohete, los astronautas están en el interior del módulo de mando (CM), que está encima del módulo de servicio (SM) y del módulo lunar (LEM)

COHETE SATURNO V
El cohete está constituido básicamente por la reserva de carburante necesaria para proporcionar los cuatro millones de kilogramos de empuje. En el dibujo se muestra el momento en que se suelta la segunda etapa del depósito de carburante



VIAJE A LA LUNA

El dibujo muestra las diversas fases del viaje de ida del Apolo 11, desde el lanzamiento hasta el alunizaje. A la izquierda, los tres astronautas protagonistas de la misión, Neil Armstrong, Michael Collins y Edwin «Buzz» Aldrin.



Arriba, aparición de la Tierra sobre la Luna, vista desde el CSM. Pocos minutos antes del alunizaje, en el módulo lunar se activaron dos señales de alarma que advertían a los astronautas de una sobrecarga del ordenador.

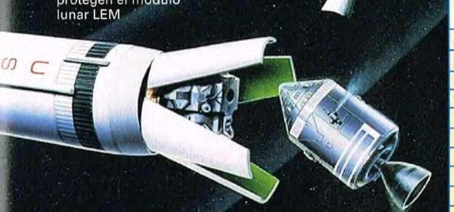


DESCENSO FINAL
Con dos astronautas a bordo, el LEM se desengancha del CSM, que orbita alrededor de la Luna comandado por el tercer astronauta



ÓRBITA LUNAR
Después de desengancharse la tercera etapa del cohete, el CSM y el LEM entran en órbita lunar

ACOPLAMIENTO DEL MÓDULO APOLO
Una vez desechadas las compuertas, el morro del CSM se acopla al LEM



LIBERACIÓN DEL CSM
El módulo de mando y servicio (CSM) se desengancha y gira sobre sí mismo. Luego se abren las compuertas que protegen el módulo lunar LEM

DATOS	MÓDULO DE MANDO (CM) Habitáculo y centro de control	MÓDULO DE SERVICIO (SM) Cilindro que contiene el motor de reacción	MÓDULO LUNAR (LEM) Utilizado para el descenso sobre la superficie lunar	SATURNO V Cohete utilizado para lanzar el Apolo al espacio
ALTURA (m)	3,5	7	7 (patas exteriores)	110,6
DIÁMETRO (m)	3,9	3,9	9,4 (en la base de las patas)	variable
PESO (kg)	5.830	24.550	3.900	2.812.320
VOLUMEN HABITABLE (m^3)	5,95	–	4,5	–
EMPUJE (kg) - 1ª etapa	–	–	–	3.469.390
2ª etapa	–	–	–	521.540
3ª etapa	–	–	–	107.935
PROPELENTES - 1ª etapa	–	–	–	queroseno, O_2 líquido
2ª etapa	–	–	–	H_2 líquido, O_2 líquido
3ª etapa	–	–	–	H_2 líquido, O_2 líquido

desembarcar un hombre en la Luna y devolverlo sano y salvo a la Tierra».

EL LANZAMIENTO

La misión Apolo 11 se inició a las 9.32 h del 16 de julio de 1969, cuando el gigantesco cohete Saturno V fue lanzado al espacio desde el Centro Espacial Kennedy, en Florida. En total, la misión duró solamente 8 días, 3 horas y 18 minutos, pero requirió el trabajo conjunto de muchos miles de ingenieros, científicos y técnicos, así como una inversión de 24 millones de dólares.

En primer lugar se diseñó un cohete capaz de llevar a los astronautas y su nave espacial a la Luna. Así nació el Saturno V, un cohete que, en la época de su lanzamiento, era el vehículo más grande que nunca había volado, capaz de generar un empuje total de 4 millones de kg.

En 1962, la NASA optó por desarrollar un módulo biplaza capaz de aterrizar en la Luna. La misión preveía que la nave espacial debía colocar en órbita lunar a una tripulación de tres astronautas. Mientras uno de ellos permanecería en el interior del módulo de mando y servicio (CSM), orbitando alrededor de la Luna, los otros dos embarcarían en el módulo lunar (LEM), bautizado con el nombre de Eagle, con el que deberían descender sobre la superficie de nuestro satélite.

EL MAR DE LA TRANQUILIDAD

El lugar elegido para el alunizaje de la misión Apolo no presentaba características destacables. Aunque había zonas más interesantes donde desembarcar, se consideraron más peligrosas. El lugar del alunizaje era un área de 18,5 × 4,8 km en el Mar de la Tranquilidad, llamado Landing Site 2 (Lugar de aterrizaje 2). Fue seleccionado porque carecía de obstáculos y podía alcanzarse fácilmente debido a su proximidad al ecuador lunar.

La partida del Apolo 11 de la Tierra se estableció de manera que, en el momento del alunizaje, el Sol se encontrase 10° por encima del horizonte lunar, y las formaciones rocosas proyectasen sombras de fácil identificación. De esta manera, Armstrong podría reconocer cualquier terreno accidentado potencialmente peligroso.


Aldrin bajando por la escalerilla del Eagle. Fue el segundo hombre que pisó la Luna.

Los tres miembros de la tripulación elegidos para efectuar el histórico viaje fueron Neil A. Armstrong (comandante de la misión), el teniente coronel Michael Collins (piloto del módulo de mando) y el coronel Edwin E. «Buzz» Aldrin Jr. (piloto del módulo lunar). Se decidió que Armstrong y Aldrin fuesen los que alunizasen sobre la superficie a bordo del módulo lunar, mientras que Collins permanecería en órbita a bordo del módulo de mando Columbia.

El viaje hacia la Luna transcurrió sin incidentes, pero cuando Armstrong y Aldrin se preparaban para descender sobre el satélite, empezaron los problemas.

UN ORDENADOR SOBRECARGADO

Cuando el módulo estaba a unos 1.220 km de la superficie lunar, sonó una señal de alarma: la alarma de código 1202. El centro de control en tierra de la misión llamó a Armstrong y le comunicó que ignorase la alarma, que indicaba que el ordenador de a bordo estaba sobrecargado. Armstrong prosiguió con calma el descenso, pero pronto se disparó otra alarma, la 1201, que se activó cuando el módulo sólo se encontraba a 914 m del suelo. De nuevo, el centro de control de la misión comunicó que ignorase el problema. Para el Eagle, era crucial descender de manera perfectamente perpendicular al terreno, a fin de evitar que se rompiese alguna pata de aterrizaje.

Armstrong identificó un lugar adecuado cuando sólo quedaban 20 segundos de carburante. Transcurrieron seis horas antes de que, a las 22.56 h del 20 de julio de 1969, bajase la escalerilla. Cuando

MISIÓN CUMPLIDA
Después de haber llevado a término sus tareas, los astronautas despegan hacia el CSM en órbita. La parte baja del LEM queda abandonada, después de ser utilizada como plataforma de lanzamiento para el regreso

TODAVÍA EN ÓRBITA
El LEM y el CSM se acoplan, y Armstrong y Aldrin se reúnen con Collins a bordo del CM

EL RETORNO A CASA

El viaje de retorno deja tras de sí una estela de objetos abandonados. El módulo lunar estaba constituido por dos partes, ambas utilizadas para el descenso sobre la superficie lunar, pero sólo la superior estaba equipada con un motor de reacción para elevarse y acoplarse al módulo de mando. El módulo lunar y el de servicio se desengancharon antes de la entrada final en la atmósfera terrestre. El amaraje se efectuó en el Pacífico.

Armstrong posó un pie sobre la superficie de la Luna, pronunció la famosa frase: «Es un pequeño paso para un hombre, pero un gigantesco salto para la humanidad».

Después de plantar la bandera de Estados Unidos, los dos astronautas empezaron a efectuar los experimentos científicos programados para la misión. Describieron la superficie como una llanura plana e incolora de suelo polvoriento, sembrado de pequeños cráteres y fragmentos rocosos, y sin rastro alguno de fenómenos debidos al viento o al agua.

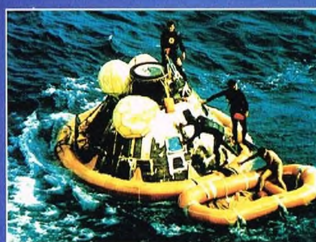
EXPERIMENTOS EN LA LUNA

Se instaló un sismómetro para detectar eventuales «selenemotos», que incluso detectó las pequeñas vibraciones provocadas por los pasos de los astronautas.

Otro instrumento, el telémetro láser de espejo catadióptrico, era capaz de reflejar un rayo láser enviado desde la Tierra. Este instrumento se empleó para medir la distancia entre la Tierra y la Luna con una precisión de 15 cm sobre 400.000 km y para estudiar los movimientos lunares.

No todos los instrumentos se utilizaron para el estudio de la Luna. El más sencillo era una hoja de aluminio fijada a un palo, que se utilizó para determinar la composición del viento solar producido por las partículas emitidas por el Sol. Los dos astronautas recogieron muestras de rocas y del suelo. Más tarde se descubrió que todas las rocas lunares son de origen ígneo.

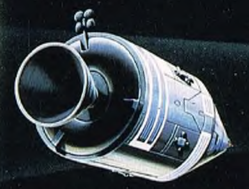
Después de 2 horas y 31 minutos de permanencia en la superficie de la Luna, Armstrong y Aldrin reembarcaron en el módulo lunar para regresar a la Tierra.



Arriba, el amaraje en el Pacífico, al noroeste de las islas Hawai, con el que finalizó el primer viaje del hombre a la Luna.



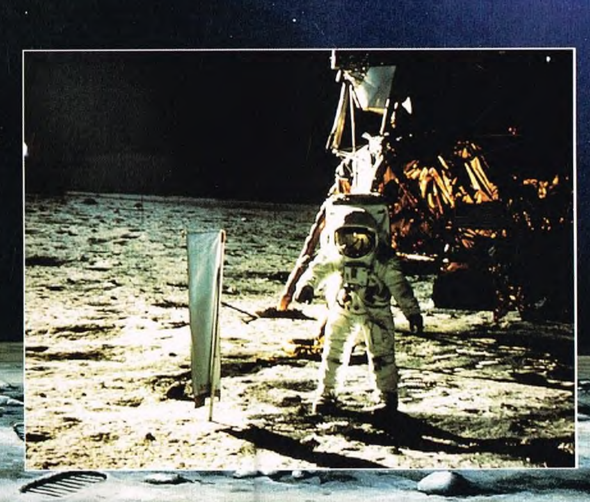
LA REENTRADA
El CM arde al reentrar en la atmósfera a una altura de 120 km. Aunque estaba construido para resistir el intenso calor generado durante la entrada en la atmósfera, su envoltura exterior quedó fuertemente dañada por la elevada temperatura



LA ÚLTIMA SEPARACIÓN
Poco antes de entrar en la atmósfera terrestre, el CM, que transporta a los astronautas, se separa del SM



LIBERACIÓN DEL LEM
La parte superior del LEM se desengancha y se deja caer sobre la Luna. El cohete del SM devuelve a los astronautas a la Tierra



A la derecha, Aldrin coloca un panel de aluminio para medir la composición del viento solar, el flujo de partículas emitidas por el Sol que no puede atravesar la atmósfera terrestre. Este dispositivo se recuperó al final del «paseo lunar» y se devolvió a la Tierra para su análisis inmediato. Los demás instrumentos se dejaron en la Luna para poder registrar datos, incluso mucho después de la partida de los astronautas.

A LA CAZA DE TESOROS

La observación desde el espacio permite a los científicos analizar la superficie de la Tierra en busca de recursos que, de otra manera, serían difíciles de localizar. También permite identificar tesoros en algunos de los planetas más cercanos a nosotros.



La moderna sociedad industrial depende del reabastecimiento continuo de recursos no renovables, como el petróleo, el carbón o los minerales metálicos. Sin embargo, en la actualidad, la mayoría de los recursos minerales que pueden extraerse fácilmente del subsuelo se han agotado, lo cual ha obligado a las compañías mineras a dirigir su atención a las regiones más remotas y desoladas del planeta en busca de nuevos yacimientos. Precisamente en este campo es donde la aplicación de la tecnología espacial está demostrando ser de un valor inestimable. La exploración de regiones de la Tierra amplias y poco cartografiadas, como los polos, los desiertos y las cadenas montañosas más inaccesibles, puede efectuarse de manera eficaz y rápida desde el espacio.

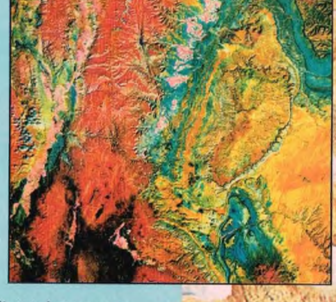


Imagen en falsos colores de la meseta de San Rafael, cerca de Salt Lake City, en Utah, tomada por el Landsat. A la derecha del centro se ve una meseta formada por la erosión de un monte. Contiene dos formaciones rocosas ricas en uranio, en explotación. La franja de color rojo de la izquierda indica una cadena montañosa. La zona de color amarillo oro, abajo, a la derecha, es el desierto de San Rafael.

UN TRABAJO DE INVESTIGADORES

Los minerales útiles raramente se encuentran en la superficie. Normalmente, yacen sepultados en las profundidades de la Tierra, ocultos por el suelo, la vegetación o gruesas capas de rocas. Por esto, los geólogos tienen que trabajar como verdaderos investigadores capaces de evaluar miles de indicios para localizar lo que está sepultado en el subsuelo.

En este aspecto, los satélites son muy útiles, porque pueden efectuar exploraciones de grandes zonas de manera rápida y relativamente económica. Por ejemplo, una imagen del satélite francés SPOT cubre una superficie de 60 km², mientras que una imagen de campo completo del satélite Landsat capta una superficie de 185 × 170 km². Con las imágenes de satélite se pueden identificar minerales o materiales rocosos importantes para la industria, como yeso, caliza o granito, y es posible detectar el petróleo que se dispersa en los océanos, procedente de yacimientos de los fondos marinos. Además, los sensores para la detección a distancia pueden identificar las rocas que contienen petróleo y las que han sido alteradas por el calor emitido por filones magmáticos cercanos a los yacimientos minerales.

Abajo, imágenes de infrarrojos de la costa de Alaska, en Estados Unidos, tomadas por el Landsat. La línea azul del centro es la cadena del Brooks Range y las zonas rojas son vegetación.



DIFERENTE REFLEXIÓN

La identificación de los yacimientos se basa en el hecho de que cada tipo de mineral o de roca refleja y absorbe la luz del Sol de una manera diferente. Esta característica produce espectros que se identifican mediante instrumentos como el analizador multiespectral de imágenes del Landsat o del MSS, que mide la luz reflejada por la superficie en siete longitudes de onda diferentes, incluida la infrarroja. Luego se utilizan sistemas computerizados para comparar las diferentes longitudes de onda y crear imágenes en falsos colores que muestran las zonas donde es probable que se encuentren yacimientos.

INDICIOS SOBRE LA GÉNESIS DE LAS ROCAS

En la mayor parte de los casos, la ausencia de pruebas directas hace que los geólogos tengan que resolver los



A la derecha, imagen de Sudul al-Kidan, en el desierto Arábigo, tomada por el satélite SPOT. Las zonas blancas son depósitos de sal y la franja horizontal es una carretera.



Arriba, imagen de una zona del desierto de Irán, tomada por el satélite SPOT. Las franjas de color indican rocas y minerales.

problemas desde una perspectiva diferente: en estos casos también se utilizan las imágenes de satélite, que sirven para estudiar y detectar las deformaciones tectónicas, o sea, los pliegues y las fallas, para identificar cualquier punto de relevancia minera. Por ejemplo, los yacimientos petrolíferos están asociados a menudo con los pliegues de las capas rocosas orientados hacia arriba, conocidos con el nombre de anticlinales. Así, se pueden confeccionar mapas de los varios tipos de rocas y estructuras geológicas en una amplia gama de escalas, desde 1:250.000 (1 cm en el mapa equivale a 2,5 km en el terreno) hasta 1:25.000.

También los satélites radar, como el ERS-2 y el Radarsat, pueden aportar una importante contribución a este tipo de búsqueda, efectuando exploraciones nocturnas de las zonas interesantes, o en condiciones meteorológicas adversas, mediante el envío a la Tierra de impulsos radar. De esta manera se identifican la forma, la estructura y los desniveles de la superficie terrestre examinada. Además, las variaciones de la fuerza de la gravedad, producidas por las diferentes densidades de las rocas, son detectadas basándose en las leves anomalías en las órbitas de los satélites.

TESOROS OCULTOS

Las diferentes asociaciones vegetales están influidas por el tipo de suelo y por el lecho rocoso. Los datos de

A la izquierda, una mina de carbón a cielo abierto de 5 km de largo, cerca de Colonia, en Alemania. Gracias a las imágenes por satélite, las compañías mineras localizan zonas «interesantes». Sin embargo, los ecologistas se sirven de ellas para estimar los daños que las minas producen en el medio ambiente.



A la izquierda, fotografía del aeropuerto de Seúl, en Corea del Sur, tomada por el satélite ruso Resurs F-1.



Arriba, el módulo de reentrada, o sea el contenedor fotográfico, del satélite Resurs F-1 después de su aterrizaje en la estepa de Kazajstán.

RESURS F-1

El satélite ruso Resurs (Recursos) F-1 se emplea para obtener fotografías con fines geológicos. A bordo lleva seis cámaras fotográficas. Dos de ellas (llamadas KFA-1000) son de gran angular, cubren una franja de terreno de 147 km de anchura y, en condiciones normales de visibilidad, tienen una capacidad de resolución de detalles de hasta 5 m. Otras tres cámaras (llamadas KATE-200) sirven para obtener simultáneamente imágenes fotográficas de la misma zona, cada una de ellas en una longitud de onda diferente. La última cámara se emplea para la navegación del satélite y se basa en la posición de las estrellas. Permite que los controladores en tierra conozcan la posición y la altura exactas del satélite en el momento de la obtención de cada fotografía.

REENTRADA EN LA TIERRA

Al final de una misión de 25 días, los módulos del satélite se separan y el contenedor con las cámaras fotográficas vuelve a entrar en la Tierra suspendido de un paracaídas para permitir la recuperación y el posterior revelado de las películas que contiene.

Los motores de reacción se encienden para hacer más lento el descenso del satélite

Contenedor de la cámara fotográfica utilizada para la navegación

Los módulos se separan

Después del desprendimiento del contenedor de las cámaras fotográficas, los paracaídas se abren para frenar el descenso

Módulo de los instrumentos

los satélites multiespectrales identifican las variaciones de la cubierta vegetal producidas por yacimientos metálicos o por los líquidos que se filtran a través de las rocas de los campos petrolíferos subterráneos. La detección de la profundidad oceánica también puede identificar un yacimiento potencial, porque las reservas de combustibles fósiles suelen estar situadas en las zonas costeras de aguas poco profundas.

Una vez elegida una zona adecuada para la perforación y la exploración minera, las imágenes de satélite pueden utilizarse de nuevo para planificar las prospecciones sísmicas. Más adelante, cuando la zona seleccionada haya sido explotada, continuarán siendo útiles para eventuales ampliaciones futuras o para actuaciones de protección ambiental.

Pero, las imágenes de satélite no proporcionan una respuesta exacta a las preguntas sobre la presencia o la ausencia de yacimientos, sino que se integran con otros datos para crear sistemas geográficos completos.

EN BUSCA DEL ORO

Una compañía minera española, durante una campaña de exploración de la España central, demostró las ventajas de utilizar los diferentes tipos de datos registrados desde el satélite para la prospección minera. Las imágenes suministradas por el satélite Landsat mostraron la presencia en el suelo de minerales que reflejaban luz blanca, roja y verde, lo que condujo al descubrimiento de rocas ricas en minerales ferrosos y en depósitos auríferos. Estudiando imágenes similares, pero obtenidas en invierno, con el manto vegetal al mínimo, los expertos localizaron un tipo de cuarcita que contenía mercurio. Un posterior análisis del Landsat Thematic Mapper reveló la existencia de rocas «cocidas» por el contacto con una masa granítica caliente: un óptimo indicio de la presencia de minerales ricos en oro, arsénico, estaño y tungsteno.

MINAS EN EL ESPACIO

En el futuro, la falta de minerales accesibles en la superficie de la Tierra obligará a las compañías mineras a ir al espacio. Sin embargo, el único cuerpo celeste explorado hasta ahora es la Luna, de la que los astronautas de la misión Apolo trajeron muestras de rocas. La Luna es rica en minerales como silicio, hierro, calcio y aluminio, pero el mineral que puede extraerse más fácilmente es el helio-3.

Otras fuentes potenciales de minerales útiles son los miles de asteroides que cada año pasan por las proximidades de nuestro planeta. Unos recientes estudios efectuados sobre un pequeño asteroide, conocido como 1986DA, han indicado que contiene cerca de 1.000 millones de toneladas de níquel, más de 10.000 millones de toneladas de hierro y 100.000 toneladas de oro y platino. Ío, una de las lunas de Júpiter, es rica en azufre; Titán, uno de los satélites de Saturno, posee, en cambio, grandes lagos de metano. Pero la posibilidad de aprovechar estos yacimientos pertenece todavía a un futuro lejano.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

UN PLANETA DE FUEGO Y HIELO

ESTRELLAS Y GALAXIAS

OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

CENTAURO

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LA TEMPERATURA

EL USO DEL ESPACIO

EL CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

8



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

UN PLANETA DE FUEGO Y HIELO

Mercurio es el planeta de los contrastes: en su superficie el plomo podría fundirse al calor de la tarde; en los cráteres polares, en cambio, hay hielos perennes.



Mercurio es el más pequeño de los planetas interiores, el que orbita más cerca del Sol y a mayor velocidad.

La mayor parte de las informaciones de que disponemos sobre Mercurio proceden de la sonda espacial Mariner 10, el único vehículo espacial que hasta el momento ha visitado el planeta. Mariner 10, diseñada como una sonda para la observación de los dos planetas más internos, fue lanzada el 3 de noviembre de 1973 y constituyó un gran éxito en la exploración de Mercurio y Venus.

UNA SUPERFICIE SEMBRADA DE CRÁTERES

Las imágenes de la sonda Mariner 10 revelaron por primera vez que la superficie de Mercurio estaba sembrada de cráteres.

La primera impresión que tiene el observador es la de una extrema semejanza con la Luna, si bien no faltan las diferencias. Mercurio presenta zonas acribilladas por numerosos cráteres, similares a los altiplanos lunares, flanqueadas por llanuras carentes de relieve y poco craterizadas, parecidas a los mares de nuestro satélite. En medio de las regiones con una presencia de cráteres elevada se encuentran también amplias extensiones casi llanas.

La superficie de Mercurio está sembrada de cráteres, acantilados y llanuras.

A la derecha, el 70% de Mercurio está formado por un núcleo compuesto de níquel y hierro. Lo rodean un manto y una corteza delgados. Mercurio es más rico en hierro que cualquier otro planeta del sistema solar.

Probablemente, estas llanuras se deben al ascenso de rocas fundidas procedentes de las profundidades del planeta.

Mercurio presenta otra característica peculiar: la presencia de empinados relieves delimitados por acantilados que atraviesan la superficie a lo largo de cientos de kilómetros. Su altura varía entre unos pocos cientos de metros y un máximo de 3 km. Es posible que se deban a las fracturas de la corteza de Mercurio, producto del enfriamiento y de la consiguiente contracción del planeta en el momento de su formación. Una reducción del diámetro de unos pocos kilómetros podría explicar la formación de estos acantilados.

A la izquierda, fotografía de Mercurio perteneciente a la primera serie de 18 tomadas por la sonda espacial Mariner 10 durante la misión a este planeta.

EN LAS PROFUNDIDADES DE MERCURIO

Antes de la misión Mariner 10, se creía que Mercurio era demasiado pequeño para poseer un campo magnético significativo. Fue una sorpresa, pues, el descubrimiento de su presencia, si bien su intensidad no rebasaba la centésima parte de la del campo magnético terrestre.

Los datos de la sonda Mariner 10 también han permitido a los astrónomos determinar la composición geológica de Mercurio. El planeta está recubierto por una corteza y un manto relativamente delgados. Su densidad, muy elevada, alcanza los 5,43 g/cm^3, unas cinco veces y media la densidad del agua y análoga a la densidad terrestre. Esto significa que la mayor parte del planeta debe estar formada por un material pesado, como por ejemplo el hierro.

UNA DINAMO INTERNA

Los astrónomos piensan que cerca de un 70% de la masa de Mercurio consiste en un gran núcleo de material ferroso que ocupa unas tres cuartas partes del diámetro del planeta; así se explicaría la existencia de un campo magnético, si bien todavía no se ha dilucidado exactamente el mecanismo responsable de su formación. Se cree, sin embargo, que el material metálico fundido

LA DOBLE MISIÓN DE LA SONDA MARINER 10

Mariner 10 fue una misión conjunta a Venus y Mercurio. Por primera vez en una importante misión espacial se utilizó la llamada técnica de la honda gravitacional, gracias a la cual el impulso dado por Venus a la sonda espacial fue utilizado para comunicar la energía necesaria para la prosecución del viaje hasta Mercurio. La alineación de los dos planetas era crucial para el resultado de la misión; por ello, la misión debía planificarse con rigor. Por fortuna, todo salió según los planes previstos. La sonda Mariner 10 llegó a Venus en febrero de 1974 y desde allí envió valiosísimas informaciones. Después, la sonda, acelerada por el campo gravitacional venusiano, se dirigió hacia Mercurio y en marzo de 1974 entró en la órbita del planeta a una distancia de apenas 703 km. En el curso de esta misión se fotografió alrededor de la mitad de la superficie del planeta. Más tarde, Mariner 10 entró en una estrecha órbita solar con objeto de cruzar de nuevo la órbita de Mercurio y permitir ulteriores encuentros, que tuvieron lugar en septiembre de 1974 y marzo de 1975. Durante estos encuentros, la sonda volvió a observar la misma mitad del planeta. Cuando la fuente de energía que alimentaba la sonda se agotó, el Mariner 10 dejó de funcionar.

del interior del núcleo de Mercurio se comporta como una dinamo análoga a la de la Tierra.

UNA COLISIÓN CATASTRÓFICA

Los astrónomos consideran muy improbable que el planeta posea desde su formación un núcleo ferroso de un tamaño tan grande; creen que Mercurio pudo haber perdido gran parte de su manto rocoso externo en el curso de una catastrófica colisión con otro objeto planetario, que habría tenido lugar en los albores del sistema solar.

Fotografía de la segunda serie de 18 que el Mariner 10 tomó en el momento de abandonar la órbita del planeta. Las fotografías se tomaron a una distancia de 200.000 km, a seis horas del punto de máxima proximidad al planeta.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

MERCURIO

En la mitología latina, Mercurio, uno de los hijos de Júpiter, es el dios de la comunicación y de todas las actividades que requieren habilidad y destreza. También es el mensajero de los dioses y se representa con un sombrero y unas sandalias aladas. El dios lleva una vara, llamada caduceo, en la cual se enroscan dos serpientes. Según la tradición, Apolo le ofreció la vara a cambio de la lira, el instrumento inventado por Mercurio. En la mitología griega, Mercurio era conocido con el nombre de Hermes.



LAS FASES DE MERCURIO

El dibujo (que no está a escala) muestra las ocho fases de Mercurio en su órbita alrededor del Sol. Las fases son parecidas a las de la Luna y tienen un ciclo análogo porque desde la Tierra sólo se ve una parte de la cara iluminada.

Estas fases dependen de la posición de Mercurio a lo largo de su órbita en relación con la Tierra. Cuando el planeta está muy próximo al Sol en la bóveda celeste, es imposible observarlo. Es más luminoso y más fácil de ver cuando se encuentra a la máxima distancia del Sol.

Desde la Tierra, Mercurio no es observable cuando está en la fase llena

Fase menguante

Fase creciente

Fase media

Fase media

Observado desde la Tierra, el Sol parece cambiar constantemente de posición en el cielo

Fase menguante

Fase creciente

Cuando Mercurio pasa entre la Tierra y el Sol, se encuentra en fase nueva y no es visible desde nuestro planeta

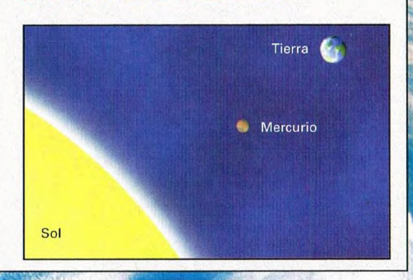
DATOS

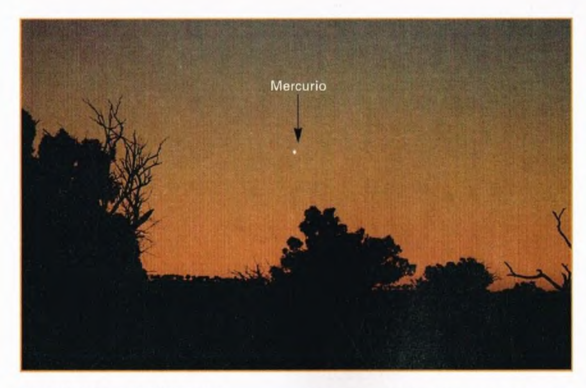
MERCURIO

Distancia mínima y máxima al Sol:	46 y 69,8 millones de km
Diámetro en el ecuador:	4.878 km
Velocidad orbital media alrededor del Sol:	47,87 km/s
Tiempo de revolución en días terrestres (tiempo empleado en dar una vuelta alrededor del Sol):	87,97
Tiempo de rotación en días terrestres (tiempo empleado en completar una vuelta alrededor de su propio eje):	58,65
Intervalo de tiempo entre dos salidas del Sol en días terrestres:	176
Número de satélites conocidos:	ninguno
Masa (masa terrestre = 1):	0,055
Volumen (volumen terrestre = 1):	0,056
Densidad (densidad del agua = 1):	5,43
Temperatura mínima de la superficie:	–180 °C
Temperatura máxima de la superficie:	430 °C
Inclinación del eje:	0°

TAMAÑOS COMPARADOS

(LA DISTANCIA NO ESTÁ A ESCALA)





En el crepúsculo, Mercurio aparece como un punto luminoso en el límite del horizonte.

UNA ÓRBITA EXCÉNTRICA

Mercurio orbita alrededor del Sol a una distancia media apenas inferior a 56 millones de km con una excentricidad muy elevada, del orden de 0,205. Esto significa que el Sol dista del centro de la órbita elíptica unas 0,205 veces la mitad del semieje mayor de la elipse; de ahí que la distancia entre el Sol y Mercurio varíe a lo largo de la órbita unos 24 millones de kilómetros. Cuando Mercurio se encuentra a la máxima distancia del Sol, se dice que está en afelio. El punto de mínima distancia al Sol se llama perihelio.

La velocidad media del movimiento de Mercurio es de unos 48 km/s, pero varía ampliamente con la posición a lo largo de la órbita alrededor del Sol. Cuando se encuentra en el afelio, el planeta viaja a 38,7 km/s, mientras que en el perihelio su velocidad es de 56,6 km/s. A modo de comparación, un avión que viajara a esta velocidad tardaría sólo 12 minutos en dar la vuelta a la Tierra.

ENTRE LA TIERRA Y EL SOL

Debido a su posición entre la Tierra y el Sol, Mercurio presenta fases similares a las de la Luna. Cuando está en la parte de la órbita más próxima a nuestro planeta, tiene el aspecto de una delgada media luna, mientras que a la máxima distancia podemos ver iluminada más de la mitad de su superficie. En la fase llena, Mercurio está demasiado cerca del Sol para que lo podamos observar en el cielo. En el transcurso de las distintas fases, parece variar también el tamaño del astro porque, desde el punto de vista de un observador en la Tierra, varía la distancia entre él y nosotros.

Otros elementos
Helio
Oxígeno
Sodio

ATMÓSFERA

Debido a su pequeño tamaño, Mercurio carece prácticamente de atmósfera. No obstante, la sonda Mariner 10 detectó una cantidad mínima de helio. Las observaciones efectuadas desde la Tierra en el transcurso de aquellas misiones espaciales identificaron también pequeñas cantidades de sodio y trazas de oxígeno, hidrógeno y potasio. El origen de estos átomos todavía no está claramente establecido. En cualquier caso, la atmósfera de Mercurio representa una reducidísima fracción (10^{-15}) de la terrestre.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

LA OBSERVACIÓN DE MERCURIO

Aunque es tan brillante como las estrellas luminosas, Mercurio es el planeta más difícil de observar y más aún a simple vista, pues su órbita está muy cerca del Sol. El planeta no se levanta más de 28° del Sol y su posición en el cielo varía significativamente de un día a otro.

CON UN TELESCOPIO

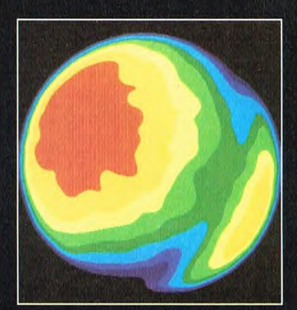
La facilidad con que podamos ver Mercurio depende de la latitud a que nos encontremos. Con un telescopio, lo podremos observar con más facilidad desde latitudes próximas al ecuador, donde el crepúsculo es muy breve, por lo que el planeta destaca perfectamente sobre el cielo oscuro. A latitudes superiores a unos 50° N, Mercurio, en el cielo del crepúsculo, aparece siempre muy bajo en el horizonte. En los próximos años, las condiciones de visibilidad serán poco favorables en Europa septentrional. Cuando se encuentra al este del Sol, el planeta puede ser visto por poco tiempo hacia occidente, a muy poca altura sobre el horizonte, inmediatamente después del ocaso. Cuando se encuentra al oeste del Sol, se puede observar a primera hora de la mañana, poco antes del alba, cerca del límite del horizonte oriental. Las fases son visibles con un telescopio de medianas dimensiones, pero las características de la superficie sólo se ven con potentes telescopios.

PERÍODOS MEJORES PARA OBSERVAR MERCURIO DESDE EL HEMISFERIO NORTE 1997–2000

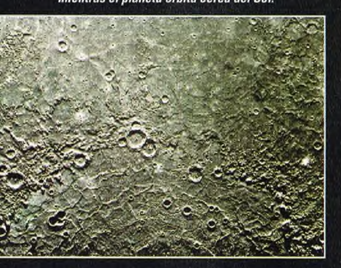
Año	Mes	Mejor período de observación
1997	principios de abril	crepúsculo
1998	principios de enero	alba
1998	mediados de marzo	crepúsculo
1998	mediados de diciembre	alba
1999	principios de marzo	crepúsculo
1999	mediados de agosto	alba
2000	mediados de febrero	crepúsculo
2000	mediados de noviembre	alba

PERÍODOS MEJORES PARA OBSERVAR MERCURIO DESDE EL HEMISFERIO SUR 1997–2000

Año	Mes	Mejor período de observación
1997	fines de enero-principios de febrero	alba
1997	fines de mayo	alba
1997	fines de julio-mediados de agosto	crepúsculo
1997	fines de nov.-principios de dic.	crepúsculo
1998	mediados de enero	alba
1998	fines de oct.-fines de nov.	crepúsculo
1999	abril	alba
1999	fines de junio	crepúsculo
1999	mediados de oct.-principios de nov.	crepúsculo
2000	mediados de marzo-mediados de abril	alba



Arriba, imagen en falsos colores obtenida por el radiotelescopio VLA de Nuevo México (Estados Unidos) que muestra la distribución de temperatura en la superficie de Mercurio. Este «mapa térmico» representa en rojo las áreas más calientes, debidas al intenso calentamiento de uno de los hemisferios, mientras el planeta orbita cerca del Sol.



DELANTE DEL SOL

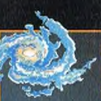
El plano de la órbita de Mercurio está inclinado 7° respecto al de la Tierra. Cuando el planeta pasa entre el Sol y la Tierra se dirige hacia el norte o hacia el sur del Sol; sólo en raras ocasiones, unas 14 veces por siglo, Mercurio pasa por delante del Sol. Estos pasos se llaman tránsitos, y el próximo tendrá lugar el 15 de noviembre de 1999.

DÍA Y NOCHE

Mercurio gira muy lentamente sobre su eje, un hecho que provoca algunos fenómenos característicos. En el tiempo necesario para completar una órbita alrededor del Sol, da una vuelta y media sobre su propio eje. Debido a este lento movimiento, un día de Mercurio (el intervalo de tiempo entre dos salidas del Sol) equivale a dos años mercurianos.

La lenta rotación hace que durante largos períodos el mismo hemisferio de Mercurio permanezca orientado hacia el Sol. Por ello, el contraste entre el día y la noche es más acentuado que en los demás planetas. De noche, las temperaturas del hemisferio opuesto al Sol caen a −180 °C. No obstante, cuando el planeta se encuentra en el perihelio las temperaturas de la tarde pueden alcanzar los 430 °C.

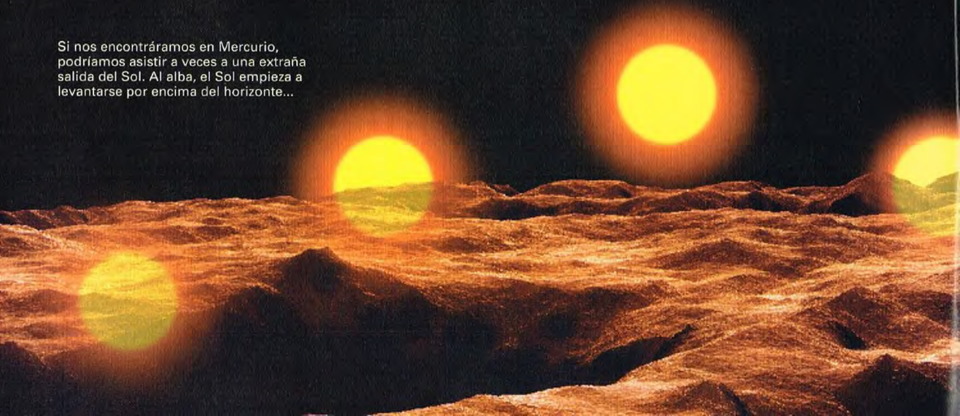
A la izquierda, la estructura más vasta de Mercurio es el Mare Caloris *(Mar del Calor), un enorme cráter de impacto de diámetro superior a los 1.300 km. El nombre se debe a que el cráter se encuentra cerca de las áreas calientes. El principal anillo montañoso que lo rodea se eleva hasta una altura de 2 km por encima de una llanura cubierta de crestas y fracturas.*



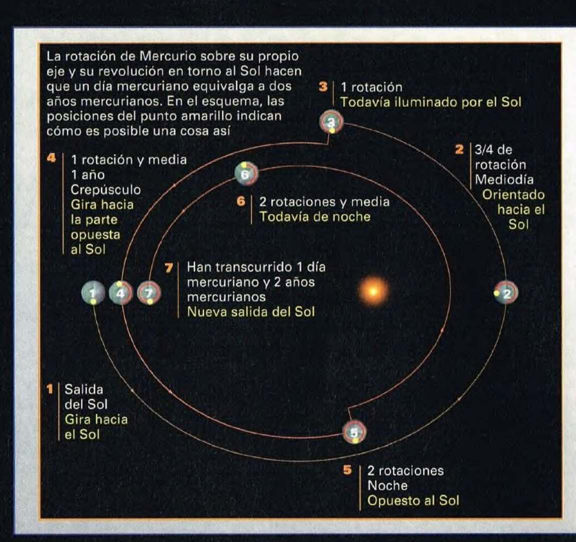
NOMBRES DE LUGAR EN MERCURIO

Con poquísimas excepciones, las estructuras características de Mercurio han sido bautizadas de acuerdo con ciertas reglas simples. Los cráteres reciben nombres de escritores, artistas y músicos; los más extensos se llaman Beethoven, Tolstoi, Rafael y Degas. Los valles toman nombres de observatorios radioastronómicos y los acantilados de buques famosos por haber efectuado viajes de exploración o investigación. A las llanuras de Mercurio se les ha impuesto el nombre Mercurio traducido a distintas lenguas, así como nombres de divinidades, pertenecientes a civilizaciones antiguas, con características similares a las del dios Mercurio, el mensajero alado de los dioses.

En Mercurio no hay estaciones análogas a las que se manifiestan en nuestro planeta, porque el eje de rotación del planeta es virtualmente perpendicular al plano de la órbita; por ello, cerca de los polos hay zonas que nunca reciben la luz del Sol. Los haces radar emitidos por la antena de disco del radiotelescopio de Arecibo, en Puerto Rico, han descubierto las características reflexiones del hielo en estas zonas. La capa de hielo podría tener un espesor de un par de metros y estar cubierta de polvo. Cuando Mercurio orbita muy cerca del Sol, éste parece mucho mayor que visto desde la Tierra. Como la distancia del planeta al Sol varía tan espectacularmente, también cambia el tamaño aparente de nuestra estrella.



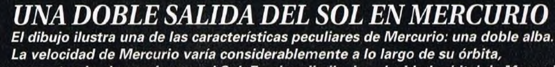
Si nos encontráramos en Mercurio, podríamos asistir a veces a una extraña salida del Sol. Al alba, el Sol empieza a levantarse por encima del horizonte...



EL DÍA DE MERCURIO

El esquema ilustra la relación entre la rotación propia de Mercurio (sobre su propio eje) y su órbita de revolución en torno al Sol. Mercurio gira tan lentamente sobre su propio eje que tarda 58 días y 16 horas (terrestres) en completar una rotación. El planeta tarda 88 días terrestres en completar una órbita alrededor del Sol (un año mercuriano).

Un día completo corresponde al período entre dos salidas consecutivas del Sol. En Mercurio, este período es de 176 días terrestres, el tiempo que el planeta tarda en dar dos vueltas completas alrededor del Sol. Como muestran las flechas rojas, Mercurio da tres vueltas sobre su eje en el período de tiempo necesario para completar dos órbitas en torno al Sol. Empezamos con el alba de Mercurio en la posición 1. En la posición 2, estamos a mediodía; en la 3, se ha completado una rotación entera; en la 4, después de dar una vuelta completa al Sol, Mercurio ha efectuado una rotación y media; en la 5, es de noche y el planeta ha dado dos vueltas sobre su propio eje; en la 6, está acercándose el final de la noche; en la 7, por último, ha transcurrido un día entero y dos años mercurianos.



UNA DOBLE SALIDA DEL SOL EN MERCURIO

El dibujo ilustra una de las características peculiares de Mercurio: una doble alba. La velocidad de Mercurio varía considerablemente a lo largo de su órbita, aumentando al aproximarse al Sol. En el perihelio, la velocidad orbital de Mercurio es tan grande comparada con la de rotación que, en ciertos puntos del planeta, el Sol parece dar una voltereta. Cuando esto sucede cerca del alba, el Sol parece alzarse brevemente para volver a ponerse más tarde. Cuando la velocidad orbital vuelve a ser más lenta, la rotación provoca nuevamente una salida del Sol. Cuando Mercurio está en el perihelio se produce también un doble crepúsculo.

... sin embargo, como la rotación del planeta es muy lenta comparada con su velocidad orbital, el Sol vuelve a ocultarse tras el horizonte antes de salir de nuevo. Esta doble salida del Sol sucede durante un breve intervalo del día mercuriano, pero dura muchos días terrestres.

OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS

Los observatorios antiguos eran meros lugares donde los astrónomos medían las posiciones de los astros. Actualmente, los centros modernos van equipados con enormes telescopios y ordenadores que recogen y analizan gran cantidad de datos procedentes de las regiones más lejanas del espacio.



Arriba, el observatorio de Jantar Mantar, en Jaipur (India), es uno de los más antiguos. Está formado por escaleras de madera que llevan pequeñas plataformas de observación orientadas para seguir el movimiento de determinadas constelaciones. Las demás instalaciones contienen un reloj de sol, llamado Samrat Yantra, un gran sextante astronómico y un nomon que indica la latitud de Jaipur y la altura de la estrella polar.



Mucho antes de que se inventara el telescopio, las antiguas civilizaciones construyeron edificios especiales para observar el Sol, la Luna y las estrellas. Stonehenge, en la llanura de Salisbury, se remonta a casi 4.000 años y está considerado como uno de los observatorios conocidos más antiguos. Pero el más antiguo observatorio que ha sobrevivido hasta nuestros días es el de Chomsung dae, en Kyongju (Corea), que presenta una simple estructura de piedra en forma de colmena con una abertura central en el techo para observar la bóveda celeste, muy similar a la de un observatorio moderno.

MEDICIÓN DE LAS POSICIONES ESTELARES

Antes de la invención del telescopio, en 1608, los astrónomos se dedicaban a medir las posiciones de las estrellas y a seguir la trayectoria de los planetas en el cielo. Los primeros instrumentos astronómicos, como el sextante y el cuadrante, iban provistos de unos visores para colimar la luz de las estrellas y los planetas que funcionaban *grosso modo* como las miras de los modernos fusiles. En la isla de Ven, frente a las costas danesas, el astrónomo Tycho Brahe (1546-1601) construyó uno de los primeros grandes observatorios. Desde allí Brahe consiguió medir la posición de unas 788 estrellas, lo que le permitió publicar el primer atlas estelar moderno.

La observación astronómica sufrió una revolución en 1608, cuando el astrónomo italiano Galileo Galilei apuntó al cielo con un simple telescopio. En los siglos que siguieron, los astrónomos fueron perfeccionando los instrumentos. Los modernos observatorios van equipados con grandes telescopios y una variedad de instrumentos electrónicos, así como ordenadores para controlar los telescopios y analizar los datos obtenidos en las observaciones.

El primer telescopio reflector, construido por Isaac Newton en 1668, recogía la luz con un espejo en vez de una lente. Actualmente, todos los grandes telescopios son reflectores porque es imposible construir una lente de diámetro superior a un metro: el vidrio cedería bajo su propio peso.

ESPEJOS MODERNOS

En un telescopio, el tamaño del espejo principal, o apertura, es una característica de fundamental importancia: cuanto mayor es el espejo, mayor es la cantidad de luz recibida.

Los grandes espejos de los telescopios modernos tienen diámetros de ocho metros y pueden recibir

Stonehenge, en la llanura de Salisbury (Inglaterra), fue probablemente un observatorio astronómico construido hace 4.000 años. Los astrónomos creen que esta estructura registró algunos sucesos celestes fundamentales, como los solsticios de verano e invierno.

LAS MONTURAS DE LOS TELESCOPIOS

Los modernos ordenadores han revolucionado el diseño de los grandes telescopios. Antaño, los telescopios tenían una montura ecuatorial que les permitía seguir objetos girando alrededor de un solo eje dirigido hacia el polo Norte o hacia el polo Sur celestes. Pero las estructuras que sostenían estos telescopios eran grandes y complicadas. El modo más simple de fijar un telescopio consiste en montarlo sobre una estructura similar a la torreta de un cañón para que pueda girar alrededor de un eje vertical y de un eje horizontal, lo que permite al telescopio seguir los objetos celestes a lo largo de los 360° del horizonte y también de abajo arriba. Este tipo de montura se llama altacimutal. Dado que los telescopios pueden rotar simultáneamente sobre dos ejes, es necesario efectuar constantes correcciones, que realizan fácilmente los ordenadores. Actualmente, todos los telescopios de gran tamaño llevan monturas altacimutales.

MONTURA ECUATORIAL

Sigue el movimiento de un objeto celeste girando alrededor de un solo eje, el polar

MONTURA ALTACIMUTAL

Sigue el movimiento de un objeto celeste girando en torno a un eje vertical y otro horizontal

una cantidad de luz suficiente como para localizar objetos millones de veces más débiles que los que podemos ver a simple vista. Una serie de soportes controlados por ordenador y montados debajo del espejo permiten a este último mantener la forma correcta, con lo que se consigue limitar el espesor del vidrio del espejo.

Las nuevas técnicas de producción han aumentado la eficiencia de los telescopios. El Keck Telescope, del observatorio de Mauna Kea, en Hawai, tiene el mayor espejo del mundo, con una apertura de casi 10 m. Este instrumento está formado por 36 segmentos hexagonales separados, controlados por un ordenador que permite accionarlos simultáneamente como si fueran una sola pieza.

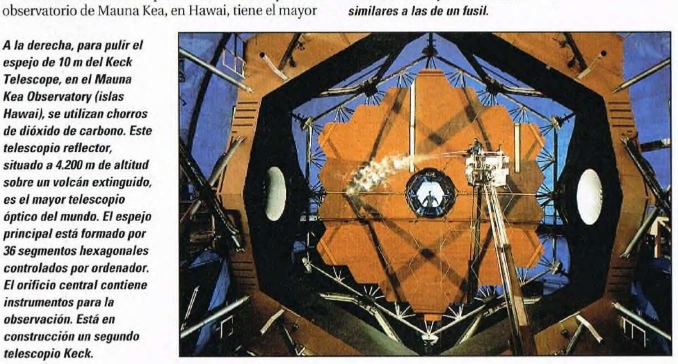
REGISTRO DE LAS OBSERVACIONES

Los astrónomos antiguos realizaban sus observaciones a simple vista; más tarde, se observó mirando a través de telescopios. Actualmente, sin embargo, los astrónomos rara vez miran a través de telescopios, pues la mayor parte de las observaciones corre a cargo de instrumentos acoplados a los telescopios.

Algunos instrumentos recogen imágenes directas del cielo; otros, como los espectrógrafos, registran los espectros de la luz emitida por los objetos distantes. Los detectores electrónicos, similares a los de las videocámaras, han sustituido casi completamente la fotografía y la observación visual. Una rara excepción la constituyen los telescopios de Schmidt, diseñados para fotografiar amplios sectores del cielo.

También se utilizan unos espejos auxiliares para enviar la luz recogida por el telescopio a los instrumentos o detectores. Generalmente, en el centro del espejo principal se encuentra un orificio a través del cual la luz llega a un instrumento instalado en la parte posterior del telescopio. Los instrumentos de mayor tamaño,

El primer uso del telescopio con fines astronómicos data de 1608. Los antiguos medían las posiciones de las estrellas y los planetas con aparatos relativamente simples, como este sextante (a la derecha). Dichos instrumentos disponían de miras similares a las de un fusil.



A la derecha, para pulir el espejo de 10 m del Keck Telescope, en el Mauna Kea Observatory (islas Hawai), se utilizan chorros de dióxido de carbono. Este telescopio reflector, situado a 4.200 m de altitud sobre un volcán extinguido, es el mayor telescopio óptico del mundo. El espejo principal está formado por 36 segmentos hexagonales controlados por ordenador. El orificio central contiene instrumentos para la observación. Está en construcción un segundo telescopio Keck.

como los espectrógrafos, se colocan sobre plataformas situadas a los lados de un telescopio de montura altacimutal.

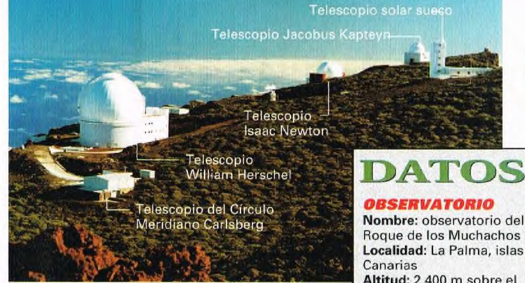
LOS EDIFICIOS DE LOS OBSERVATORIOS

El medio que rodea un telescopio debe ser estable, pues las variaciones de temperatura distorsionan el espejo y las corrientes de aire pueden perturbar la nitidez de las imágenes. Muchos observatorios antiguos se instalaron en zonas abiertas; otros tenían techos provistos de paneles correderos.

A partir del siglo XIX, para proteger los telescopios la mayoría de los observatorios se construyeron con techos en forma de cúpula, que podía girarse para apuntar a cualquier dirección y disponía de una rendija que podía abrirse. Hoy, los edificios que protegen los telescopios son más pequeños y compactos porque los aparatos instalados sobre monturas altacimutales no requieren demasiado espacio.

A GRAN ALTITUD

Los telescopios funcionan mejor en lugares con buenas condiciones climáticas y aire limpio. Además, deben situarse alejados de las luces de la ciudad. La luz artificial interfiere con la visual de las estrellas y causa el fenómeno conocido como contaminación luminosa. Los mejores lugares para instalar observatorios son montañas aisladas, a gran altitud, como las islas volcánicas de las Canarias o de Hawai. Allí, los telescopios están muy por encima de las capas más densas de la atmósfera, donde el polvo, el vapor de agua y las corrientes de aire pueden distorsionar las imágenes. El Mauna Kea, en Hawai, es el observatorio astronómico óptico más alto del mundo, ya que se encuentra sobre un volcán extinguido a 4.205 m de altitud, pero hay otras importantes estaciones astronómicas en Arizona (Estados Unidos) y, en el hemisferio sur, en Australia y Chile.



Arriba, el observatorio del Roque de los Muchachos, en las islas Canarias, situado en la cima de una montaña de 2.400 m. Aloja telescopios de siete países distintos.

ACUERDOS INTERNACIONALES

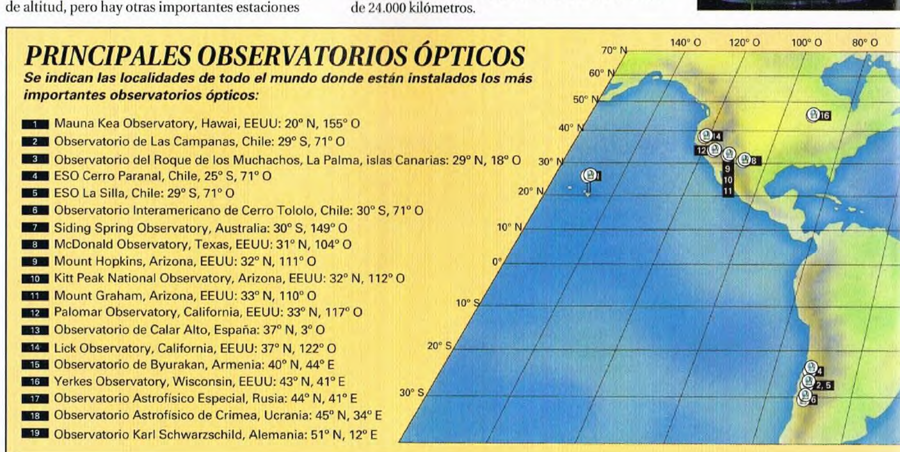
Gracias a acuerdos internacionales, los países que carecen de lugares adecuados pueden instalar sus telescopios en zonas donde las condiciones sean más favorables. En el observatorio del Roque de los Muchachos, en las islas Canarias, hay telescopios de siete países. Además, como la construcción de grandes telescopios es cara, muchos son fruto de colaboraciones entre varias naciones. El mayor telescopio en construcción es el Very Large Telescope del European Southern Observatory (ESO), en Chile, que deberá entrar en funcionamiento el año 2000. En el observatorio de Mauna Kea se está construyendo el Keck II. Cuando operen conjuntamente, los dos telescopios Keck deberán ser capaces de distinguir los dos faros delanteros de un automóvil a una distancia de 24.000 kilómetros.

DATOS

OBSERVATORIO

Nombre: observatorio del Roque de los Muchachos
Localidad: La Palma, islas Canarias
Altitud: 2.400 m sobre el nivel del mar
Área: 2 km²
Primer telescopio operativo: 1982
Países participantes: Reino Unido, Italia, Suecia, Noruega, Dinamarca, España y Alemania





PRINCIPALES OBSERVATORIOS ÓPTICOS

Se indican las localidades de todo el mundo donde están instalados los más importantes observatorios ópticos:

1. Mauna Kea Observatory, Hawai, EEUU: 20° N, 155° O
2. Observatorio de Las Campanas, Chile: 29° S, 71° O
3. Observatorio del Roque de los Muchachos, La Palma, islas Canarias: 29° N, 18° O
4. ESO Cerro Paranal, Chile, 25° S, 71° O
5. ESO La Silla, Chile: 29° S, 71° O
6. Observatorio Interamericano de Cerro Tololo, Chile: 30° S, 71° O
7. Siding Spring Observatory, Australia: 30° S, 149° O
8. McDonald Observatory, Texas, EEUU: 31° N, 104° O
9. Mount Hopkins, Arizona, EEUU: 32° N, 111° O
10. Kitt Peak National Observatory, Arizona, EEUU: 32° N, 112° O
11. Mount Graham, Arizona, EEUU: 33° N, 110° O
12. Palomar Observatory, California, EEUU: 33° N, 117° O
13. Observatorio de Calar Alto, España: 37° N, 3° O
14. Lick Observatory, California, EEUU: 37° N, 122° O
15. Observatorio de Byurakan, Armenia: 40° N, 44° E
16. Yerkes Observatory, Wisconsin, EEUU: 43° N, 41° E
17. Observatorio Astrofísico Especial, Rusia: 44° N, 41° E
18. Observatorio Astrofísico de Crimea, Ucrania: 45° N, 34° E
19. Observatorio Karl Schwarzschild, Alemania: 51° N, 12° E

TELESCOPIO WILLIAM HERSCHEL

Este telescopio reflector, instalado en el observatorio del Roque de los Muchachos, en las islas Canarias, recibe su nombre del famoso astrónomo británico William Herschel (1738-1822). El telescopio, gestionado por Gran Bretaña, entró en funcionamiento en 1976. El espejo principal tiene una apertura de 4,2 m, que lo convierte en el quinto mayor reflector del mundo.

SALA DE CONTROL
Aloja el ordenador que controla el telescopio y analiza las observaciones. Aquí trabajan los operadores del telescopio

LABORATORIO DE MANTENIMIENTO
Es un área destinada al mantenimiento y a la preparación de los instrumentos

CÚPULA
Protege el telescopio y puede girar de modo que su rendija se abra en cualquier dirección, lo cual permite la observación de toda la bóveda celeste

REVESTIMIENTO DE LA RENDIJA
Se trata de un portillo montado sobre la cúpula que puede correrse hacia adentro para permitir que el telescopio observe el cielo

ESPEJO SECUNDARIO
La luz reflejada por el espejo principal pasa a través del telescopio y es dirigida hacia los instrumentos

PLATAFORMA DE LOS INSTRUMENTOS
Se utiliza para montar los instrumentos científicos de mayor tamaño, como los espectrógrafos, destinados al análisis de la luz emitida por los objetos distantes

INSTRUMENTOS
Detrás del espejo principal pueden montarse instrumentos científicos que miden y analizan la luz, como cámaras fotográficas y fotómetros. Esta dotación no es fija, sino que depende de la finalidad de las observaciones efectuadas

ESPEJO PRINCIPAL
Recoge y focaliza la luz procedente de las estrellas y los objetos lejanos



A la izquierda, el modelo de cúpula para uno de los telescopios Géminis, en fase de construcción, sometido a prueba en una galería de agua. Las corrientes térmicas aéreas pueden perturbar el telescopio: se utiliza un tinte fluorescente para simular el movimiento del aire en la cúpula.

60° O 40° O 20° O 0° 20° E 40° E 60° E 80° E 100° E 120° E 140° E 160° E

Ubicación de los principales telescopios ópticos

19 18 17 15 13 3 7

CENTAURO

Centauro, una de las constelaciones australes más importantes, contiene la estrella más próxima al Sol.



La constelación de Centauro (*Centaurus*) pertenece al hemisferio sur, por lo que a latitudes como la de España sólo es visible parcialmente.

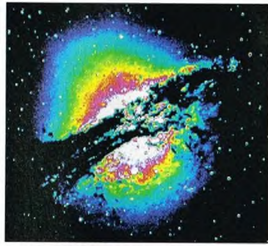
En ella se representa a Quirón, el mítico ser con cuerpo de caballo y cabeza humana que instruyó a Aquiles y a otros héroes griegos.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

La constelación de Centauro puede localizarse uniendo Arturo, la brillante estrella de la constelación del Boyero, con Spica, la más luminosa de las estrellas de Virgo, y prolongando la recta en dirección sur.

ESTRELLAS PRINCIPALES

La estrella más brillante de la constelación es Rigil Kentaurus (Alfa *Centauri*, magnitud 0), situada en el pie del centauro. Se trata en realidad de un sistema múltiple de tres estrellas. La más brillante es una estrella parecida al Sol en lo tocante a tamaño y temperatura; está acompañada por una estrella (de magnitud 1,3) que gira a su alrededor en unos 80 años. La tercera estrella del sistema es una enana roja (de magnitud 11), cuya importancia estriba en ser la estrella más cercana a nuestro sistema solar. Por esta razón se le llama *Proxima Centauri*. Dista 4,2 años luz de nosotros y completa una revolución en torno a Alfa *Centauri* en varios millones de años.



La galaxia NGC 5128 se encuentra a unos 15 millones de años luz de nosotros. La atraviesa una banda oscura de polvo que parece cortarla en dos.

Hadar (Beta *Centauri*, de magnitud 0,6) es una estrella muy caliente acompañada por otra estrella mucho menos luminosa.

Al norte de Hadar, ligeramente hacia el oeste, se encuentra Epsilon *Centauri* (de magnitud 2). Al norte de Epsilon, pero esta vez ligeramente hacia el este, está Zeta *Centauri* (de magnitud 3). Al oeste de esta última se puede ver una línea de estrellas, las más luminosas de las cuales son Omega *Centauri*, Gamma *Centauri* (Menkent) y Delta *Centauri*.

OBJETOS DE CENTAURO

La constelación de Centauro contiene el más brillante de los cúmulos globulares, Omega *Centauri*, uno de los pocos que pueden verse a simple vista. Su mera denominación con una letra del alfabeto griego indica ya su gran luminosidad. Omega *Centauri* aparece como una estrella de magnitud 3. Además de ser el más luminoso, es también uno de los cúmulos globulares más ricos, pues contiene más de cien mil estrellas. Al telescopio, aunque sea de poca apertura, se advierte que las estrellas que lo componen van aglomerándose en la región central y diluyéndose hacia los bordes.

Otro objeto muy interesante, pero cuya observación requiere un buen telescopio, es NGC 5128, una galaxia que en las fotografías de larga exposición exhibe una franja oscura de polvo que la atraviesa. NGC 5128 emite gran cantidad de radioondas y, al observarla a esta longitud de onda, muestra vastas regiones de gas que se extienden mucho más allá de la región luminosa visible en las fotografías. Es muy probable que la galaxia contenga en su interior un agujero negro que expulsa grandes cantidades de materia, las cuales forman las nubes visibles en las observaciones de los radiotelescopios.



La constelación de Centauro representa uno de los dos centauros celestes. El otro es Sagitario.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

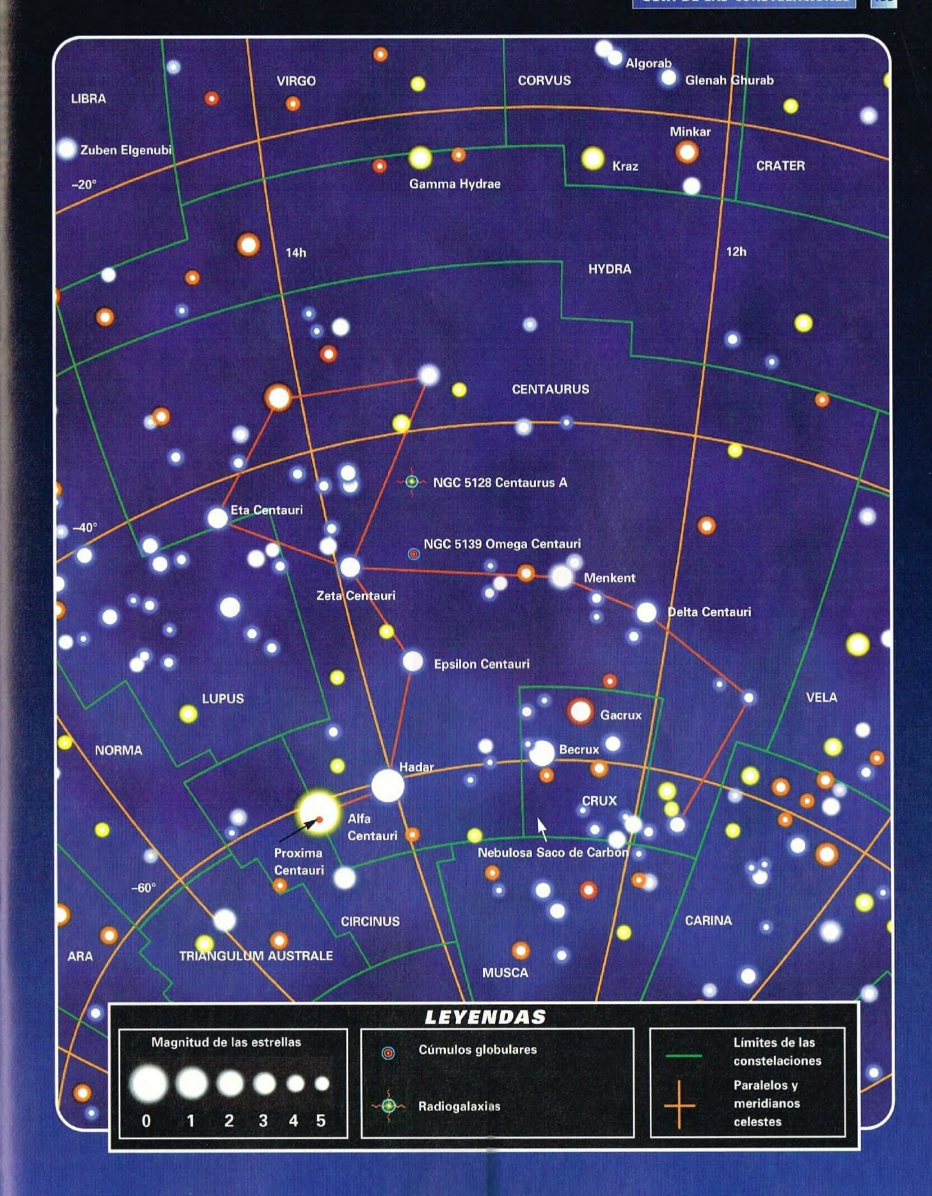
CENTAURO

El centauro es una criatura de la mitología griega con un cuerpo mitad de hombre mitad de caballo. La constelación de Centauro representa a Quirón, un centauro pacífico y un habilísimo maestro de caza, medicina y música que educó a muchísimos antiguos héroes griegos.
Quirón murió accidentalmente víctima de una flecha envenenada lanzada por el héroe griego Hércules. Para protegerlo de ulteriores heridas, los dioses alzaron el centauro hasta el cielo.

DÓNDE BUSCARLA

CENTAURO

La constelación de Centauro abarca una región del cielo comprendida entre 30° S y 65° S de declinación, y entre 11 horas 5 minutos y 15 horas 5 minutos de ascensión recta. Es íntegramente visible todo el año desde latitudes inferiores a 60° S y parte del año desde la zona situada entre 60° S y 25° N. Por encima de 25° N nunca es íntegramente visible. Para poder observarla a primeras horas de la noche la mejor época del año es la primavera, cuando la constelación asoma por el horizonte sur. Desde España, pues, sólo se la puede ver incompleta; la porción visible depende del lugar exacto de observación.


LIBRA
VIRGO
CORVUS
Algorab
Glenah Ghurab
Zuben Elgenubi
Minkar
Kraz
CRATER
-20°
Gamma Hydrae
14h
12h
HYDRA
CENTAURUS
NGC 5128 Centaurus A
Eta Centauri
-40°
NGC 5139 Omega Centauri
Menkent
Zeta Centauri
Delta Centauri
Epsilon Centauri
LUPUS
VELA
Gacrux
NORMA
Becrux
Hadar
CRUX
Alfa
Centauri
Proxima
Centauri
Nebulosa Saco de Carbon
-60°
CIRCINUS
CARINA
ARA
TRIANGULUM AUSTRALE
MUSCA
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos globulares
Radiogalaxias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LA TEMPERATURA

UN VIAJE ENTRE LO MUY CALIENTE Y LO MUY FRÍO

La temperatura varía mucho de unas regiones a otras del universo, pero no hay que confundir temperatura, energía interna y calor.

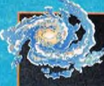


En el núcleo de algunas estrellas la temperatura puede alcanzar miles de millones de grados Celsius a causa de la elevadísima energía cinética de las partículas que componen la materia de dichos astros. En el espacio interestelar, en cambio, la temperatura es apenas de –270 °C. Cualquier descripción de una región o de un objeto del espacio carece de significado a menos que se tome en consideración la temperatura. No obstante, medir la temperatura no es una tarea fácil para los astrónomos.

TEMPERATURA, ENERGÍA INTERNA Y CALOR

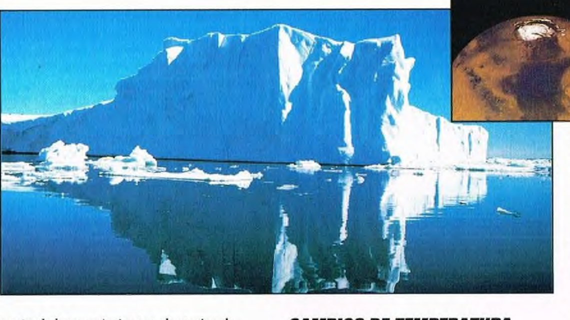
La temperatura es la medida, expresada en grados, de la energía cinética media de las partículas (átomos o moléculas) que componen un cierto cuerpo. Indica, pues, lo rápido que éstas se mueven dentro del cuerpo considerado. La energía interna de un objeto es, como su nombre indica, una forma de energía; indica la energía total (no media) que contiene un cuerpo en

Los lugares más inhóspitos de la Tierra, como los polos, son también aquellos donde las temperaturas son más extremas. Si algún día los hombres desean vivir en los distintos lugares del universo, deberán adaptarse a temperaturas mucho más calientes o frías de las que están acostumbrados.



EL CERO ABSOLUTO

En el universo no hay límite conocido para las temperaturas elevadas pero sí lo hay para las bajas. Si se enfría un cuerpo, se observa que las partículas que lo componen se mueven cada vez más lentamente. Se descubre, además, que no es posible reducir indefinidamente la temperatura porque el movimiento de las partículas tiene un límite: aquél en que todas ellas tienen la menor energía cinética posible. La temperatura más baja teóricamente alcanzable es el cero absoluto, que constituye además el origen de la escala termométrica Kelvin (K) y que corresponde a –273,15 °C. Las modernas técnicas del frío permiten ya acercarse muchísimo a ese límite absoluto de las bajas temperaturas.



A la izquierda, en la fotografía grande, este gigantesco iceberg fotografiado a lo largo de las costas de la Antártida tiene una temperatura inferior a 0 °C pero contiene más energía interna que una olla de agua hirviendo. Aunque las moléculas del agua hirviendo se mueven más deprisa y tienen una temperatura más alta, el iceberg posee una masa mayor y por lo tanto contiene más energía interna. La fotografía pequeña es una imagen del polo Norte de Marte tomada por las sondas Viking.

razón de los movimientos aleatorios de sus partículas constituyentes; además de la velocidad a que se mueven las partículas, depende del tamaño del objeto y de su composición. El calor, por último, es una transferencia de energía de un cuerpo a otro como consecuencia de esta agitación molecular desordenada. La temperatura de un cuerpo puede ser muy elevada sin que ello signifique que la energía interna sea muy grande. Dos muestras de una misma sustancia, una muy pequeña a elevada temperatura y la otra muy grande a baja temperatura, pueden ser tales que la segunda contenga mucha más energía interna que la primera.

ÁTOMOS EN MOVIMIENTO

Los átomos y las moléculas que constituyen un cuerpo siempre están en movimiento. En un sólido, las partículas materiales vibran alrededor de una posición fija, mientras que en un cuerpo gaseoso se mueven con libertad, chocando continuamente entre sí. Las partículas que componen un líquido se comportan de modo intermedio entre los dos precedentes. La energía cinética conferida por el movimiento de los átomos y las moléculas constituye la energía interna de un cuerpo. Cuanto más rápidamente se muevan las partículas, más elevada será su energía cinética media y, por lo tanto, su temperatura.

La temperatura, pues, es directamente proporcional a la velocidad de los átomos y las moléculas. En un cuerpo gaseoso, estas partículas se mueven muy rápidamente. A una temperatura de 0 °C y a presión atmosférica normal, una molécula de hidrógeno gaseoso viaja a unos 2 km/s (7.200 km/h).

CAMBIOS DE TEMPERATURA

Los cambios de temperatura pueden tener efectos significativos sobre los átomos. Los átomos constan de un pequeño núcleo rodeado por una nube electrónica en la cual los distintos electrones se encuentran en niveles energéticos distintos. Cuando los átomos se calientan, los electrones pasan de un nivel a otro absorbiendo energía. Luego, esta energía es emitida en forma de radiación, con una longitud de onda que depende de la cantidad de energía absorbida. Si la temperatura es lo bastante alta, parte de los electrones, o todos, adquieren suficiente energía para separarse del átomo, un fenómeno conocido como ionización. El espectro de las radiaciones emitidas muestra los efectos de la temperatura. Los científicos pueden medir la temperatura de las estrellas y de las nubes de gas estudiando sus espectros.

Cuando la temperatura es lo bastante baja, los átomos se unen por pares o en grupos mayores para formar las moléculas, que también se caracterizan por emisiones espectrales, utilizadas para estimar las temperaturas de los objetos del espacio.

CAMBIO DE ESTADO

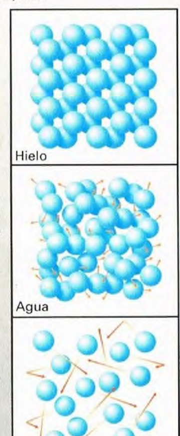
Si se calienta hielo a 0 °C, no aumenta su temperatura sino que se produce un cambio de estado físico. La energía térmica se utiliza para hacer pasar del estado sólido al estado líquido; cuando un cuerpo se transforma de esta manera las moléculas adquieren mayor energía y se mueven más deprisa.



A la izquierda, el hielo, sólido a 0 °C, empieza a deshacerse por encima de esta temperatura.
A la derecha, las moléculas de hielo en estado sólido forman una estructura cristalina, están agrupadas y su energía cinética mínima.

A la izquierda, cuando se suministra al hielo una cierta cantidad de calor, parte de él se transforma en agua y parte en gas, es decir, en vapor.
A la derecha, en el agua las moléculas se mueven más libremente.

A la izquierda, el agua hierve a 100 °C y pasa a estado gaseoso. Las moléculas calentadas ascienden debido a las corrientes convectivas.
A la derecha, las moléculas de vapor de agua tienen mayor energía que las de agua.



ESCALA CELSIUS Y ESCALA KELVIN

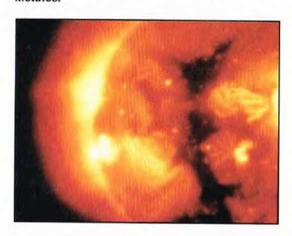
La gama de temperaturas experimentada en la vida cotidiana terrestre es relativamente limitada, razón por la cual es posible utilizar escalas termométricas basadas en fenómenos familiares.

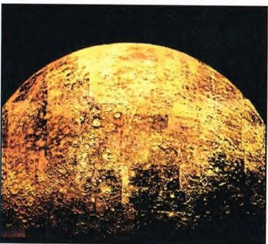
La escala Celsius tiene dos puntos fijos de referencia, ambos considerados a presión atmosférica: el punto de fusión y el punto de ebullición del agua, respectivamente iguales a 0 ºC y 100 ºC. El intervalo entre estos dos puntos de la escala Celsius se divide en 100 grados, por lo que la escala se llama también centígrada. Por debajo del punto de fusión, la escala adopta valores negativos.

Para conseguir una escala ligada a la energía cinética de las partículas y no arbitraria, los científicos han introducido la escala Kelvin, que hace corresponder al cero la temperatura a la cual las moléculas de un cuerpo están inmóviles. El cero absoluto (0 K) equivale a –273,15 ºC y cada grado de la escala Kelvin (o simplemente kelvin) corresponde exactamente al mismo intervalo de temperatura representado por un grado de la escala Celsius.

Abajo, la elevada temperatura del centro del Sol, de unos 15.000.000 °C, permite la puesta en marcha de reacciones de fusión nuclear.

En la foto inferior, Mercurio es el planeta más próximo al Sol. De día, las temperaturas de su superficie, de hasta 430 °C, hacen fundir muchos metales.





LA RADIACIÓN TÉRMICA

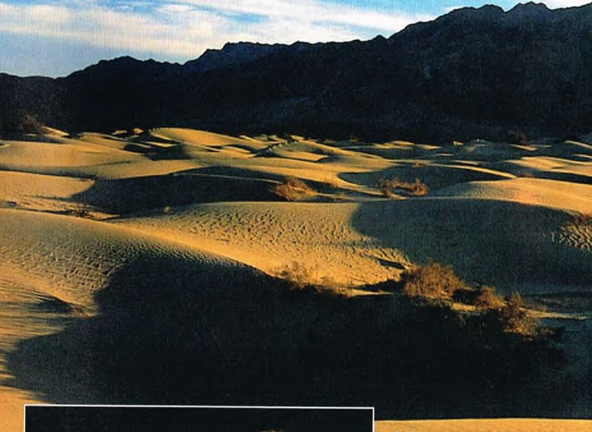
Todo cuerpo que esté a una temperatura superior al cero absoluto, ya se trate de estrellas, planetas, animales, objetos gaseosos, líquidos o sólidos, emite radiaciones. Este tipo de radiación se llama radiación térmica. La radiación térmica emitida por un objeto como una estrella comprende la mayor parte del espectro; por ejemplo, la radiación del Sol abarca desde los rayos ultravioletas hasta las ondas de radio y buena parte de ella es emitida en forma de luz visible.

EL COLOR DE LAS ESTRELLAS

La temperatura está correlacionada con el espectro de las radiaciones, que se comportan casi como un termómetro.

El color de una estrella indica la temperatura superficial: las estrellas de color rojo son las más frías (3.500 K), mientras que las más calientes emiten una mayor cantidad de luz amarilla y parecen anaranjadas (4.500 K). El Sol es todavía más caliente, por lo que su superficie es amarilla (6.000 K). Las estrellas más calientes emiten luz blanca o azul (hasta 50.000 K).

DATOS	ALGUNAS TEMPERATURAS DEL UNIVERSO Grados (°) Celsius	Kelvin
RADIACIÓN CÓSMICA DE FONDO	–270,42	2,73
SUPERFICIE DE PLUTÓN	–233	40
NUBES DE JÚPITER	–143	130
LUGAR MÁS FRÍO DE LA ANTÁRTIDA	–80	193
CUERPO HUMANO	37	310
VALLE DE LA MUERTE, EEUU	50	323
LUGAR MÁS CALIENTE DE MERCURIO	430	703
SUPERFICIE DEL SOL	unos 6.000	unos 6.000
CORONA SOLAR	cerca de 1.000.000	cerca de 1.000.000
CENTRO DEL SOL	unos 15.000.000	unos 15.000.000





La imagen principal muestra el Valle de la Muerte (EEUU), donde las temperaturas pueden alcanzar 50 °C, una de las más elevadas de la Tierra. A la izquierda, el cuerpo humano es una sofisticada máquina formada básicamente de agua y carbono, cuyo rendimiento óptimo se produce a una temperatura de 37 °C.

PROPAGACIÓN DEL CALOR

El calor se cede de un cuerpo a otro por radiación, conducción o convección. El modo radiativo es el flujo directo de radiaciones emitidas por una fuente. La conducción se manifiesta cuando el calor se propaga a través de los sólidos: cuando una parte de un cuerpo se calienta, las moléculas que la componen vibran y agitan las moléculas vecinas, transfiriendo de esta forma energía.

La convección se produce de la siguiente manera: en las capas situadas debajo de la superficie del Sol, enormes corrientes de gas caliente suben y transfieren parte del calor a la masa de gas superior, más fría; luego, al enfriarse y volverse más densas, regresan a las capas inferiores.



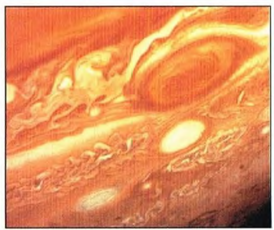
CALOR Y ENERGÍA

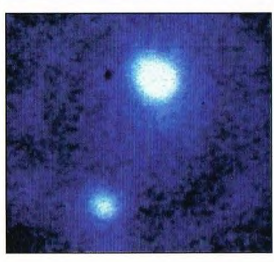
Los átomos calentados se mueven mucho más rápidamente y por ello absorben y emiten energía en forma de luz. Un simple experimento puede poner de manifiesto el fenómeno.
EL EXPERIMENTO DEBE REALIZARSE EN PRESENCIA DE UN ADULTO.
Verted unos granos de sal de cocina sobre la llama de gas del quemador. Los iones de sodio presentes en la sal absorben el calor y reemiten la energía así adquirida en forma de una brillante luz amarilla. Se trata de la misma luz que emiten las farolas.



La llama del gas, normalmente azul, se vuelve amarilla por los iones de sodio en la sal.

Abajo, Júpiter y Plutón (este último mostrado en compañía de su satélite, Caronte) son dos de los objetos más fríos del sistema solar. El sistema de nubes de la superficie de Júpiter tiene una temperatura de –143 °C, mientras que la superficie de Plutón, mucho más fría, alcanza los –233 °C. Estas temperaturas derivan de la enorme distancia al Sol de estos dos planetas; cuanto más dista un cuerpo del Sol, menos energía recibe y más frío es.





Arriba, en las montañas de la península Antártica se llega a –80 °C, la temperatura más baja de la Tierra.

A la derecha, el frío mata la mayor parte de los seres vivos. Estas langostas se conservan en hielo porque las bacterias que causan su putrefacción no sobreviven al frío.

EL CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE



La contaminación atmosférica provocada por la industria y los vehículos de motor constituye una de las más serias amenazas para el medio ambiente. La NASA ha puesto en marcha un programa espacial, Mission to Planet Earth, para tener bajo vigilancia la atmósfera y los efectos que provocan las actividades humanas en ella.

Los satélites tienen bajo constante control la atmósfera y los océanos de la Tierra, y vigilan los cambios que podrían amenazar nuestro frágil planeta.



La expansión de las actividades humanas está ejerciendo una presión creciente sobre el medio ambiente en el que vivimos: las actividades mineras y la deforestación erosionan el territorio y modifican el paisaje; los residuos químicos envenenan el suelo; los vertidos de hidrocarburos contaminan el paisaje y matan animales; los gases de las industrias y de los vehículos a motor contaminan el aire.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Tal vez el más preocupante de estos fenómenos sea la contaminación atmosférica. Los científicos que se ocupan de la gestión del medio ambiente coinciden en señalar que la atmósfera está seriamente amenazada por nuestras actividades. Sin embargo, no se sabe todavía lo bastante sobre las interacciones entre la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera como para lograr prever con precisión cuáles serán los efectos a largo plazo.

Los científicos han enviado instrumentos a bordo de satélites, los cuales, orbitando a gran altura alrededor de nuestro planeta, tienen bajo vigilancia la atmósfera y las aguas del globo.

EL AGUJERO DE LA CAPA DE OZONO

La vigilancia de la atmósfera y los océanos comenzó en los años setenta con el uso de instrumentos embarcados en satélites meteorológicos, como el Tiros y el Meteor, y en vehículos espaciales, como los satélites Seasat y Nimbus. A comienzos de los años ochenta, el Nimbus 7 de la NASA descubrió un adelgazamiento de la capa de ozono que más tarde fue descrito como un «agujero» en la capa de ozono

EL EFECTO INVERNADERO

1. La luz emitida por el Sol llega a la superficie terrestre. Una parte de la radiación regresa al espacio, mientras que otra es absorbida por el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera.
2. Las actividades humanas producen un aumento del nivel del CO_2 atmosférico, lo que provoca el aumento del calor absorbido por las capas bajas de la atmósfera y una subida de la temperatura global.







A la izquierda, los vertidos de petróleo son localizados por los satélites en órbita y por los instrumentos de los transbordadores espaciales estadounidenses.

Abajo, los accidentes de los superpetroleros dañan el ecosistema marino.

situado sobre la Antártida. Desde entonces se han descubierto otros «agujeros» de la capa de ozono en otros momentos y lugares.

El adelgazamiento de la capa de ozono se debe a la contaminación de la atmósfera terrestre. Los principales responsables son los clorofluorocarburos (CFC), emitidos por los frigoríficos y los *sprays*, que se dispersan por el medio ambiente. Un grave deterioro de la delgada capa de ozono podría amenazar toda la vida en la Tierra.

CALENTAMIENTO GLOBAL

Otro urgente problema ambiental consiste en la posibilidad de un próximo aumento de la temperatura a escala planetaria. Un calentamiento global alteraría drásticamente el clima en todo el mundo, causando perjuicios enormes a la agricultura y provocando escasez en todas partes. El calentamiento podría entrañar también la fusión de los casquetes polares, con el consiguiente aumento del nivel del mar, que sumergiría gran parte de las costas y las islas.

El aumento de temperatura es consecuencia del llamado efecto invernadero. La atmósfera funciona como un auténtico invernadero que captura el calor irradiado por el Sol. Muchas actividades humanas de tipo industrial introducen gases, especialmente dióxido de carbono y metano, en la atmósfera. Los satélites suministran datos vitales sobre las temperaturas, las circulaciones oceánicas, el tamaño de los casquetes polares y las cantidades de gases de efecto invernadero.

FUERZAS NATURALES

Hay otros muchos factores que influyen sobre las condiciones ambientales: uno de ellos es la actividad solar. Las fluctuaciones de la energía emitida por el Sol producen modificaciones climáticas, como por ejemplo la miniépoca glacial que se manifestó en

LA CAPA DE OZONO

La capa de ozono abarca un estrato de la atmósfera terrestre comprendido entre unos 20 y unos 80 km de altitud. Toma su nombre del gas ozono, que constituye una de las moléculas más importantes en esta región de la atmósfera. El ozono es la variante triatómica (O_3) del oxígeno normal (O_2) que nosotros respiramos.

El adelgazamiento de la capa de ozono es un peligro porque esta capa protege la Tierra de la mayor parte de las radiaciones ultravioletas (UV) procedentes del Sol. Si la capa de ozono se hiciera más tenue, una enorme cantidad de rayos ultravioletas llegaría al suelo, aumentando el número de tumores de piel. Si el adelgazamiento alcanzara valores máximos, el aumento del nivel de rayos UV podría frenar, o incluso impedir, el crecimiento de las plantas, lo cual constituiría una amenaza para la vida en la Tierra.

LA DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO

Los agentes químicos contaminantes (como los CFC) presentes en la atmósfera destruyen las moléculas de ozono y crean zonas más delgadas en la capa de ozono, con lo que aumenta el número de radiaciones ultravioletas que llegan a la Tierra.

Capa de ozono

«Agujero» de la capa de ozono

Antártida

Una mayor cantidad de peligrosos rayos ultravioletas llega a la Tierra

nuestro planeta a finales del siglo XVII. Los satélites estudian el Sol a distintas longitudes de onda para comprobar la existencia de variaciones en la emisión de la energía solar y estimar posibles efectos sobre el clima mundial.

Pero nosotros los humanos no somos los únicos organismos que viven en este planeta e influyen en las condiciones del medio ambiente. En los continentes, los árboles y las demás plantas también influyen en la cantidad de dióxido de carbono, que estos organismos consumen en la fotosíntesis, emitiendo oxígeno como subproducto. En los océanos, la función de las plantas la desempeña el plancton. Todavía no está claro el papel de estos seres vivos en la reducción del dióxido de carbono que los hombres introducen en la atmósfera.

La Unión Europea y la Agencia Espacial Europea (ESA) están poniendo en marcha dos importantes programas: el denominado TREES (Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellite) utiliza satélites de teledetección para registrar la cubierta forestal global y la tasa de deforestación, mientras que OCEAN (Ocean Colour Environmental Archive Network) emplea los mismos satélites para observar la coloración de los océanos.

PREVISIONES METEOROLÓGICAS

Todos los satélites utilizados en la observación de los fenómenos terrestres recogen información sobre el medio ambiente. En cambio, los satélites meteorológicos, como el Meteosat, el NOAA y el GOES, se limitan básicamente a la previsión de los fenómenos meteorológicos. Los satélites de teledetección, como el ERS y el SPOT, efectúan observaciones próximas de la superficie de continentes y océanos, y recogen datos sobre las corrientes oceánicas y la dirección del viento.

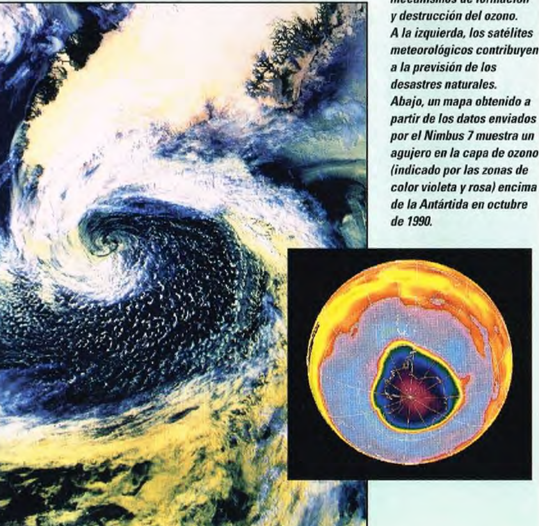
Algunos vehículos espaciales se han diseñado para investigar el medio ambiente, como el satélite de la misión francoestadounidense TOPEX/Poseidón, lanzado en 1992, que estudia la circulación oceánica para predecir los cambios climáticos.

DATOS

SATÉLITE DE INVESTIGACIÓN PARA LA ALTA ATMÓSFERA (UARS)

LANZAMIENTO: 12 de septiembre de 1991
LANZADOR: transbordador espacial Discovery
ÓRBITA: circular, a 600 km de altitud
DIMENSIONES: 9,8 m de longitud y 4,6 m de diámetro
PESO: 6,8 toneladas
INSTRUMENTOS:
- **CLAES, ISAMS, MLS, HALOE:** miden la concentración de los elementos químicos presentes en la atmósfera y las variaciones de temperatura de ésta
- **HRDI, WIND II:** estudian los vientos y su dirección en la alta atmósfera
- **SUSIM, SOLSTICE, ACRIM II, PEM:** miden la radiación solar ultravioleta y los flujos de energía solar





Arriba, el satélite de investigación para la alta atmósfera (UARS) navega por el espacio con los paneles solares desplegados. Lanzado en 1991, el UARS estudia la química de la alta atmósfera. Los datos que envía ayudan a los científicos que se ocupan del medio ambiente a comprender los mecanismos de formación y destrucción del ozono. A la izquierda, los satélites meteorológicos contribuyen a la previsión de los desastres naturales. Abajo, un mapa obtenido a partir de los datos enviados por el Nimbus 7 muestra un agujero en la capa de ozono (indicado por las zonas de color violeta y rosa) encima de la Antártida en octubre de 1990.

LAS MISIONES DEL TRANSBORDADOR

A finales de marzo de 1992 se realizaron una serie de misiones, llamadas genéricamente ATLAS (Atmospheric Laboratory for Applications and Science), con la ayuda de los transbordadores espaciales y del Spacelab. En la bodega del transbordador se instalaron combinaciones de instrumentos montados sobre soportes diseñados para el Spacelab. El ATLAS lleva instrumentos para medir la composición química de la atmósfera y la concentración de los agentes químicos contaminantes, como el monóxido de cloro, uno de los responsables del deterioro de la capa de ozono.

Las misiones ATLAS forman parte del programa Mission to Planet Earth de la NASA, que estudia las condiciones medioambientales de todo del globo. Otro elemento fundamental de este proyecto es el UARS (Upper Atmosphere Research Satellite), que fue puesto en órbita en 1991.

EL ESTUDIO DE LA ALTA ATMÓSFERA

El principal objetivo del UARS consiste en estudiar la química de la alta atmósfera y observar las modalidades de formación y destrucción de las moléculas de ozono. A tal fin, el satélite va equipado con una serie de 10 instrumentos que analizan la composición química del aire en la alta atmósfera y estudian las reacciones que allí tienen lugar.

Gracias a equipos como éstos, los científicos están elaborando una imagen cada vez más precisa del medio que nos rodea. Es posible que las informaciones obtenidas con las nuevas tecnologías nos permitan resolver algún día las complejas cuestiones medioambientales todavía pendientes.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

ESTRELLA DEL ATARDECER

ESTRELLAS Y GALAXIAS

EN LOS CONFINES DEL UNIVERSO

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

LA OSA MENOR

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

LOS COHETES

EL USO DEL ESPACIO

OJOS SOBRE EL PLANETA



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

9



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

ESTRELLA DEL ATARDECER

Venus es el planeta más cercano a la Tierra, pero, debido a su densa y venenosa atmósfera, también es el planeta sobre el que el hombre nunca podrá aterrizar.

Venus es el segundo planeta en orden de distancia al Sol y también el más cercano a nosotros. Aparece como el objeto más brillante y visible en el cielo, tanto en el crepúsculo como en el amanecer. Cuando alcanza su máximo esplendor, la intensidad de su luz es tal que a veces se toma por un OVNI.

La fuerte luminosidad de este planeta se debe en parte a su proximidad pero, sobre todo, a su capacidad de reflejar la luz solar. El albedo de Venus es de 0,76, lo que significa que el planeta refleja el 76% de la luz incidente, y es el máximo de todo el sistema solar. Esto se debe a la capa de nubes que siempre hay en la atmósfera venusiana y que, además, impide la observación de la superficie del planeta.

Entre todos los planetas del sistema solar, Venus es el que más se asemeja a la Tierra en tamaño y estructura. Con un radio de 12.100 km, puede decirse que es nuestro planeta gemelo. A pesar de esta afinidad, es improbable que los astronautas puedan aterrizar algún día sobre su superficie. Venus es un planeta letal para el hombre. Su elevadísima temperatura, así como la composición de su densa atmósfera,

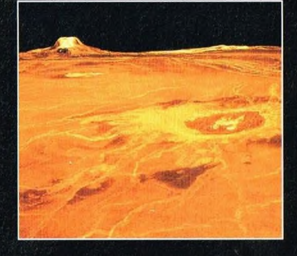


Imagen de Venus en la que son visibles las nubes extremadamente densas que impiden observar su superficie. A la derecha, una llanura venusiana típica reconstruida en tres dimensiones.

no permiten la presencia humana ni siquiera por poco tiempo.

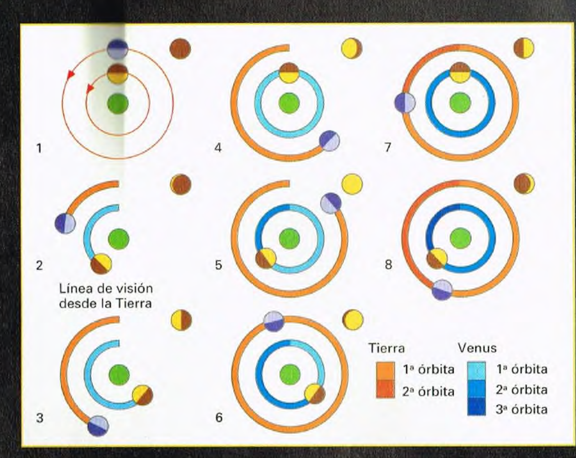
UN POCO DE HISTORIA

Venus era conocido incluso antes del empleo de instrumentos ópticos, pero Galileo observó por primera vez sus fases a través de un anteojo. El descubrimiento de las fases constituyó la prueba definitiva para la refutación del sistema de Tolomeo. En efecto, este sistema atribuía a Venus una posición estable entre la Tierra y el Sol, incompatible con la presencia de las fases. El sistema de Copérnico era el único que preveía una posición móvil de Venus respecto a la Tierra, lo que explicaba así el fenómeno de las fases tal como lo puede apreciar un observador situado en nuestro planeta.

Los primeros estudiosos que utilizaron el telescopio indicaron en sus dibujos la presencia de altas montañas; sostenían que las veían a lo largo de la línea que separaba la parte iluminada de la oscura. En realidad, lo que veían aquellos antiguos astrónomos era un fenómeno debido a la turbulencia atmosférica. Ni siquiera los relieves más elevados de Venus pueden verse a través de la densa y luminosa atmósfera del planeta.

VENUS VISTO DESDE LA TIERRA

Con un telescopio, desde la Tierra no es posible descubrir muchos detalles de Venus, porque sólo se pueden distinguir las nubes de su atmósfera. Sin embargo, al no disponer de datos seguros, las teorías sobre la naturaleza de su superficie han sido numerosas en el transcurso de los siglos. Dada la semejanza entre sus dimensiones y las de nuestro planeta, se pensaba que las condiciones eran iguales.



En el dibujo se han representado las posiciones de la Tierra y de Venus alrededor del Sol. El círculo de la parte superior derecha de cada figura muestra el aspecto de Venus visto desde la Tierra. Como Venus sigue una órbita más interna que la terrestre y tiene un período de revolución más corto que el de nuestro planeta, presenta fases similares a las de la Luna.

LA DESOLADA SUPERFICIE DE VENUS

He aquí cómo se presentaría la superficie de Venus para un hipotético astronauta que llegase a soportar las extremas condiciones que este planeta impone. En Venus, a causa de un fuerte efecto invernadero debido en gran parte al dióxido de carbono presente en su atmósfera, se alcanzan temperaturas muy elevadas, del orden de los 470 °C o más. La imagen ha sido elaborada con los datos suministrados por la sonda Magellan con un radar de apertura sintética SAR.

DATOS



VENUS

masa: 4,87 x 10^{27} g
radio ecuatorial: 6.051 km
densidad media: 5,25 g/cm³
masa (Tierra = 1): 0,82
volumen (Tierra = 1): 0,857
densidad (Tierra = 1): 0,95
período de rotación: 243 días 0 horas 14 minutos (movimiento retrógrado)

Pero cuando se averiguó que su temperatura era mucho más elevada que la de la Tierra, algunos estudiosos lanzaron la hipótesis de que estaba recubierto de junglas tropicales y húmedas.

La confirmación de que Venus es un planeta extremadamente caliente se ha obtenido de los datos procedentes de radiotelescopios de microondas, que indican una temperatura superior a la de ebullición del agua. A partir de los años treinta se ha podido reconocer también la presencia de óxido de carbono en su atmósfera mediante los estudios de las rayas de absorción del infrarrojo que aparecen en su espectro.

LAS SONDAS A VENUS

La primera sonda que se envió a otro planeta fue el Sputnik 7, que fue lanzado hacia Venus en 1961, aunque explosionó en la atmósfera terrestre. Éste fue el primero de una serie de fallos, aunque también de interesantes resultados, gracias a las series Venera (soviética) y Mariner (estadounidense). La sonda Mariner 2 fue el primer objeto construido por el hombre que se acercó a otro planeta.

Durante los años sesenta, en la carrera iniciada entre Estados Unidos y la Unión Soviética para apuntarse los mayores éxitos espaciales, Venus era la meta preferida para el envío de sondas debido a su proximidad a nuestro planeta (42 millones de km) y por el misterio que encerraba.



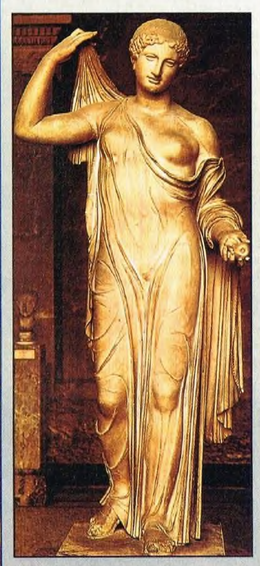
Esta imagen, tomada desde la Tierra con un telescopio, muestra una fina hoz de Venus que se parece mucho a las de nuestra Luna.

Los rusos, con el proyecto Venera, fueron los que más arriesgaron, dejando caer en la peligrosa atmósfera venusiana un módulo que soltaron de la sonda madre, el cual debería haber aclarado muchos interrogantes.

En el aterrizaje sobre la superficie de Venus, el módulo se frenó mediante un paracaídas. Sin embargo, los instrumentos que contenía quedaron sometidos a enormes esfuerzos debidos a la presión

VENUS, DIOSA DEL AMOR

Debido a su relativa proximidad al Sol, Venus parece efectuar una oscilación que le hace seguir al Sol en el atardecer y precederlo en el amanecer. En la Antigüedad ya se habían observado estos movimientos y, como se creía que se trataba de dos cuerpos distintos, se habían denominado *Vesper*, el lucero de la tarde, y *Lucifer*, el lucero de la mañana. Los nueve planetas del sistema solar han heredado los nombres de las divinidades de la mitología. Según los romanos, Venus era la diosa del amor y de la belleza, asimilada más tarde, en el siglo IV-III a.C., a la diosa griega Afrodita. El culto de esta diosa fue floreciente en la edad augusta, cuando se difundió la idea de que la *gens Iulia* tuvo a Venus como progenitora.



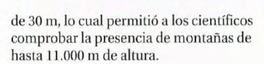
Afrodita para los griegos, y Venus para los romanos, era la diosa del amor y de la belleza, conocida por sus amores con Marte.

y la temperatura que encontraron. A pesar de todo, el módulo lanzado desde Venera 7 logró transmitir informaciones durante más de 20 minutos después de su aterrizaje y registró una temperatura de 475 °C y una presión de más de 90 atmósferas en el suelo. Durante la segunda mitad de los años setenta, la mejora tecnológica permitió enviar fotografías en blanco y negro, y en color.

A principios de los años ochenta, la Unión Soviética construyó los últimos modelos de la serie Venera, las sondas 14 y 15, que después se rebautizaron como Vega 1 y Vega 2. A pesar de que estaban destinadas a ir al encuentro del cometa Halley, al pasar cerca del planeta dejaron caer dos módulos, más elaborados que las anteriores versiones, y dos globos atmosféricos que detectaron las características a una altura de 50 km. Después de los éxitos de los diversos Mariner, los estadounidenses proyectaron en los mismos años las dos Pioneer-Venus, también equipadas con pequeños módulos para sondear la superficie. Estas sondas empezaron a trazar mapas con el radar desde una altura media de 100.000 kilómetros.

Sin embargo, la sonda cuya aportación resultó fundamental fue la Magellan, que en agosto de 1990 empezó a construir un mapa de la superficie de Venus mucho más preciso y amplio que los anteriores, porque los datos se tomaban desde una altura mucho menor.





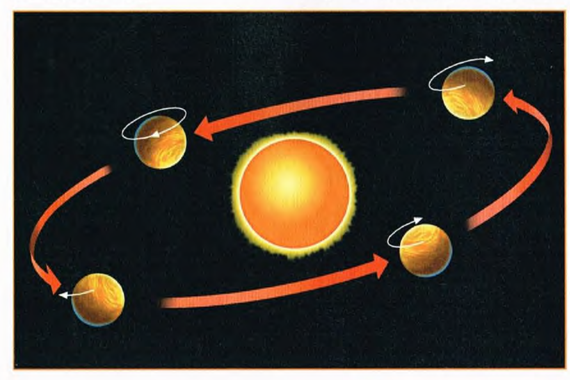
A la izquierda, un detalle de la atormentada y desértica superficie de Venus. Abajo, procesado tridimensional de la estructura de uno de los muchos conos volcánicos que se yerguen sobre las llanuras. Los análisis efectuados por las sondas han revelado que en el planeta existe una actividad volcánica reciente. Las formas redondeadas se deben a la fuerte erosión que la densa atmósfera ejerce sobre los relieves.

EL MAPA RADAR DE VENUS

El radar utilizado en la sonda Magellan para reproducir la estructura de la superficie del planeta era de apertura sintética SAR que, desde una altura en el apogeo de poco más de 8.000 km y en el perigeo de 290 km, en unos dos años logró cartografiar más del 97% de la superficie de Venus.

La previsión de unos costos demasiado elevados obligó a los proyectistas a optar por un método de transmisión de datos a tierra no continuo. La sonda rastreaba el terreno en el perigeo durante 37 minutos y, mientras subía a la parte alta de la órbita, transmitía a la Tierra los datos recogidos mediante su antena de 3,7 m de diámetro. La precisión del rastreo orográfico tenía un margen de error sobre la altura del relieve de 30 m, lo cual permitió a los científicos comprobar la presencia de montañas de hasta 11.000 m de altura.

En este dibujo se ha representado una de las particularidades de Venus: la dirección de su movimiento de revolución, opuesta a la de su rotación. Todos los planetas orbitan alrededor del Sol de oeste a este, pero Venus y Urano son los dos únicos planetas del sistema solar que giran alrededor de su eje en sentido contrario, de este a oeste.



ROTACIÓN Y REVOLUCIÓN

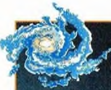
Venus tiene unas características muy particulares dentro del sistema solar: aparte de Urano, es el único planeta que gira alrededor de su eje de este a oeste. La mayoría de los cuerpos celestes de nuestro sistema se mueven alrededor del Sol en la misma dirección (de oeste a este) en la que giran sobre sí mismos. Los astrónomos llaman al movimiento contrario de Venus movimiento retrógrado.

La velocidad de rotación del planeta es muy baja y ligeramente menor que la de revolución. En efecto, Venus tarda 243 días en completar un giro completo sobre su eje, pero sólo 225 días en recorrer una órbita completa, casi perfectamente circular, alrededor del Sol.

Esto significa que, mientras en la Tierra la rotación sobre sí misma es la que determina la alternancia de los días y las noches, en Venus el período durante el cual el Sol permanece sobre el horizonte depende de la duración de su movimiento de revolución.

LA ATMÓSFERA

Hasta principios de este siglo la atmósfera de Venus ha representado un enigma muy difícil de resolver. Únicamente el empleo combinado de la espectroscopia y de instrumentos cada vez más potentes ha permitido identificar algunas sustancias presentes en la atmósfera del planeta.



EL DÍA Y LA NOCHE

Un hipotético observador situado en la superficie de Venus tendría una vida muy particular. La velocidad casi coincidente entre el período de rotación y el de revolución determina un día extremadamente largo.
En efecto, en Venus, al contrario de lo que sucede en la Tierra, la alternancia del día y de la noche depende de su movimiento de revolución. Un día solar en este planeta dura unos 116 días terrestres.

El dióxido de carbono es el gas predominante en Venus y representa el 96,5% del total. El 3,5% restante es nitrógeno con trazas de oxígeno, monóxido de carbono, argón y dióxido de azufre. También hay un pequeño porcentaje de vapor de agua. En cambio, en la Tierra, la mayor parte del dióxido de carbono está atrapado en las rocas de tipo calcáreo, aunque durante las primeras fases de la evolución terrestre la atmósfera pudo haber sido similar a la actual de Venus.

Dado que los componentes de la atmósfera venusiana son bastante pesados, es evidente que la presión en el suelo es mucho mayor que la de nuestro planeta. En efecto, la presión en su superficie es de 90 a 95 atmósferas, la misma que hay en el mar a una profundidad de 90 m. Un astronauta que descendiese a este planeta quedaría sometido a esta enorme presión y sería instantáneamente aplastado. Por otra parte, esta mezcla de gases es muy venenosa para el hombre.

La densidad de la atmósfera de Venus es tal que la presión en su suelo es 90-95 veces mayor que la terrestre.

Su mayor densidad y su peculiar composición provocan un efecto invernadero muy acentuado, con consecuencias sobre la temperatura, que llega hasta los 475 °C.

Los módulos que dejaron caer las sondas han revelado la presencia de intensas radioondas del mismo tipo que las producidas por las descargas eléctricas, señal evidente de que en Venus también hay truenos y relámpagos, pero mucho más potentes y frecuentes que los nuestros.

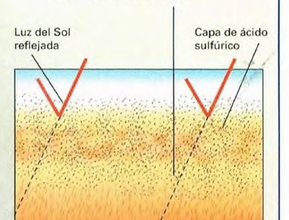
La observación de la atmósfera de Venus condujo a formular la hipótesis, después confirmada por las sondas, de la existencia de fortísimos vientos en las alturas. En efecto, en las capas de la alta atmósfera, las nubes efectúan, siempre en movimiento retrógrado, una rotación completa en cuatro días en lugar de los 243 del cuerpo del planeta. La temperatura de la atmósfera disminuye con la altura; por ejemplo, a 100 km, la temperatura es de 90 °C bajo cero.

LA SUPERFICIE DE VENUS

En la superficie de Venus, poco después de su formación, probablemente había océanos de agua. Sin embargo, con el paso del tiempo, la radiación procedente del Sol (entonces muy joven) se iba haciendo cada vez más intensa y estos mares empezaron a evaporarse, mientras que el dióxido

EL EFECTO INVERNADERO

El efecto invernadero se produce porque las capas más bajas de la atmósfera absorben la energía emitida por el suelo. En un planeta sin atmósfera, la energía procedente del Sol es absorbida por su superficie, que la vuelve a emitir en forma de radiación infrarroja. En cambio, la presencia de gases hace que éstos absorban parcialmente la radiación emitida por el suelo. Así se establece un equilibrio que produce una temperatura media más elevada. El porcentaje de absorción, así como la temperatura del suelo, depende de los gases que componen la atmósfera del planeta. El principal responsable del efecto invernadero es el dióxido de carbono que, presente en enormes cantidades en Venus, en su suelo ha producido una elevación del punto de equilibrio térmico a 475 °C. El efecto invernadero se incrementa aún más por la presencia de vapor de agua y de dióxido de azufre en las nubes del planeta.



Los gases que contiene la atmósfera impiden la dispersión al espacio de los rayos infrarrojos emitidos por el suelo.

de carbono se liberaba de las rocas y se dispersaba por la atmósfera. De esta manera se inició un proceso en círculo cerrado, porque, en estas condiciones, el efecto invernadero se hacía sentir cada vez más y la temperatura empezaba a aumentar, incrementando también el índice de evaporación. Muy pronto desapareció toda el agua de la superficie, mientras que la mayor parte del dióxido de carbono pasó a la atmósfera.

El suelo de Venus es parecido a un desierto rocoso inmerso en una luz amarillenta, en el que los colores predominantes son el anaranjado y el marrón del terreno.

Después del rastreo radar efectuado por la sonda Magellan ha sido posible reconstruir el mapa de casi toda la superficie. En ausencia de mares, para definir las características orográficas (montañas o depresiones) se establece un radio medio, llamando montañas a las zonas de la superficie que lo superan. Desde este punto de vista, el suelo presenta grandes llanuras onduladas y pocas montañas, pero también hay depresiones que podrían haber albergado los primigenios océanos del planeta.

Las sondas enviadas, y en particular la Magellan, han descubierto que en Venus hay una actividad volcánica reciente. Este resultado se infiere de las reflexiones radar de algunas zonas que indican una opacidad del suelo y, por tanto, la presencia de lava que afloró no hace mucho tiempo. La densa atmósfera del planeta erosiona muy rápidamente la parte superficial del magma, dejando al descubierto una capa

Arriba, paisaje en perspectiva en colores artificiales de unos relieves venusianos. El 65% del suelo de Venus está constituido por llanuras; dos regiones se elevan por encima de ellas, la Tierra de Afrodita y la Tierra de Ishtar, con altiplanos y escasas montañas.



La imagen muestra un río de lava solidificada recientemente y, por tanto, opaca al radar, porque todavía no ha sido erosionada por la atmósfera.

LA ASTRONOMIA EN CASA

LA OBSERVACIÓN DE VENUS

Venus puede observarse fácilmente gracias a su luminosidad y, a veces, se confunde con un platillo volante.

A SIMPLE VISTA

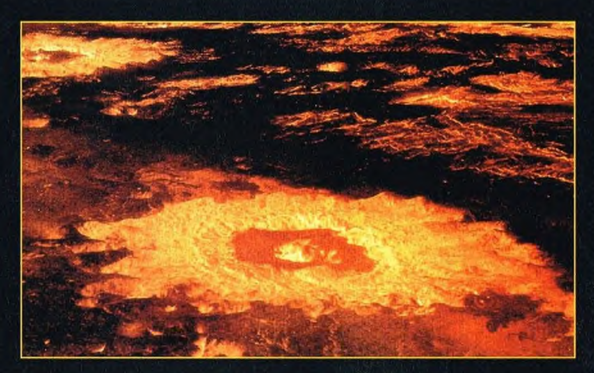
Es visible en el cielo cuando empieza la noche o durante el amanecer y se puede observar fácilmente a simple vista. No es difícil distinguirlo de una estrella por su gran luminosidad.

CON PRISMÁTICOS

Venus, como la Luna, presenta fases. Sin embargo, cuando aparece como una media luna, es necesario emplear unos modestos prismáticos para distinguir su forma. Hay quien sostiene haber visto la media luna a simple vista.
Venus alcanza su máxima luminosidad cuando es visible una hoz que representa aproximadamente el 28% de su disco. En estas condiciones, es siete veces más brillante que Júpiter.

CON UN TELESCOPIO

Con un telescopio, Venus parece una pequeña esfera blanca. Con un instrumento incluso de poca potencia también pueden verse perfectamente sus fases a lo largo de todo el año. Pero, como Venus está completamente envuelto por nubes, ni siquiera con un telescopio es posible ver detalles de su superficie. Sólo se ve la capa superior de su atmósfera, caracterizada por bandas de color amarillento.



Las imágenes del cráter Danilova (arriba) y de un hemisferio completo (abajo a la derecha) muestran que Venus también ha estado sometido a un bombardeo de meteoritos en las fases iniciales de su historia geológica.

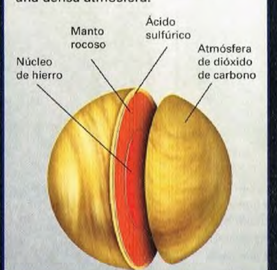
de sulfuro de hierro que refleja las señales de radar porque es un compuesto metálico.

La composición de las rocas de Venus es similar a las rocas basálticas terrestres, aunque la morfología y los escenarios observados por los módulos que aterrizaron, los cráteres (volcánicos y de impactos) y los fenómenos tectónicos son tan variados que hacen suponer una historia geológica muy compleja. La densidad de la atmósfera determina en la superficie unas condiciones muy peculiares; una luminosidad escasa (como un día muy nublado en la Tierra) y fenómenos de refracción múltiple que dan lugar a varias imágenes de un solo objeto.

Además, la densidad no homogénea de la atmósfera determina refracciones sucesivas de la imagen del Sol, una por cada capa de diferente densidad. Por tanto, desde el suelo seguramente es posible ver dos o tres soles.

ESTRUCTURA DE VENUS

Como la Tierra, Venus también tiene una estructura interna formada por un núcleo central caliente y radiactivo, un manto semisólido y una corteza sólida de unos 20 km de espesor. Además está envuelto por una densa atmósfera.



LOS CONTINENTES

En Venus se han identificado dos regiones que podrían asociarse al concepto de continentes, porque están a una altura mayor que la del nivel medio del terreno. Estas zonas, la Tierra de Ishtar y la Tierra de Afrodita, están, respectivamente, en el hemisferio norte y a caballo del ecuador hacia el sur.

La Tierra de Ishtar tiene una extensión ligeramente inferior a la de Estados Unidos y en ella se yerguen los picos más altos del planeta, los montes Maxwell, que alcanzan una altura de 11 kilómetros.

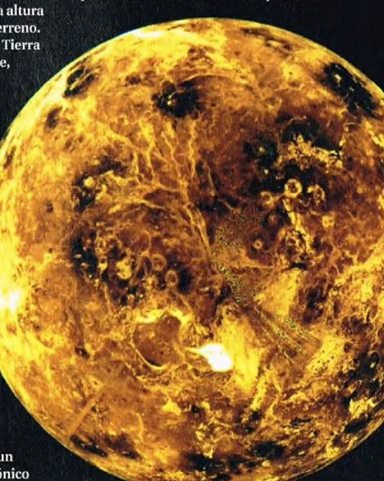
La Tierra de Afrodita es más extensa y tiene una superficie mayor que África. De ella surge el monte Maat, un volcán de 8 km de altura, alrededor del cual se extienden sobre la llanura coladas de lava recientes, que atestiguan la presencia de actividad volcánica en Venus. Sobre este continente se extiende un sistema de cañones de origen tectónico de centenares de kilómetros de longitud. Estos cañones, que confieren a la Tierra de Afrodita su aspecto característico, tienen unas dimensiones notables: una profundidad de 2 a 4 km y una anchura de 280 kilómetros.

EL INTERIOR DE VENUS

La estructura interna de Venus debería ser similar a la de la Tierra, con una corteza exterior, un manto de material fundido y un núcleo interior ferroso. La hipótesis prevaleciente es la que asigna un espesor de 3.200 km al núcleo, de 2.800 km al manto y de 20 km a la corteza superficial. El núcleo ferroso debería dar origen a un campo magnético que, en cambio, no existe.

EL CAMPO MAGNÉTICO

El campo magnético generado por un planeta depende del movimiento de las corrientes de los conductores de su interior. El viento solar incide directamente en las capas altas de la atmósfera y las ioniza, creando un frente de impacto que genera un campo magnético de forma alargada en dirección opuesta a la del viento solar. La existencia del núcleo ferroso debería provocar la presencia de un campo magnético medible. El hecho de que Venus no lo posea podría deberse a las peculiaridades de los movimientos del planeta. Una rotación tan lenta alrededor de su eje (243 días) es quizá la causa de esta ausencia que, de otra manera, sería inexplicable.



EN LOS CONFINES DEL UNIVERSO

La contemplación de un cielo estrellado es un espectáculo maravilloso que induce a formular preguntas emotivamente muy sugerentes y, al mismo tiempo, de gran interés científico.



Visión del universo en la iconografía medieval. Las estrellas están representadas en una gran cúpula, fuera de la cual se encuentran todos los mecanismos necesarios para su movimiento.



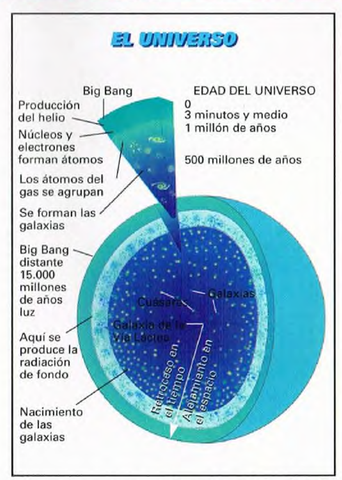
Muchas veces, al dirigir la mirada al cielo en una noche estrellada, hemos quedado fascinados por el maravilloso espectáculo que se ofrece a nuestros ojos. Sin embargo, después de los primeros momentos de contemplación, siempre surgen de manera espontánea preguntas sobre lo que vemos. Muchas veces nos hemos preguntado qué son aquellos puntos luminosos que parpadean sobre nuestras cabezas y por qué algunos son más brillantes que otros. A continuación, después de haber intentado contarlos, también hemos quedado sorprendidos al constatar hasta qué punto son numerosos. Esta constatación incita a plantear otras preguntas, todavía más profundas y apasionantes: «¿El universo es finito o infinito?» y «Si es finito, ¿hasta dónde se extiende?»; «¿Qué hay más allá del universo?».

Éstas han sido siempre las preguntas más apasionantes y, al mismo tiempo, las más temidas, ya que proyectan nuestra mente más allá de la dimensión normal del conocimiento humano.

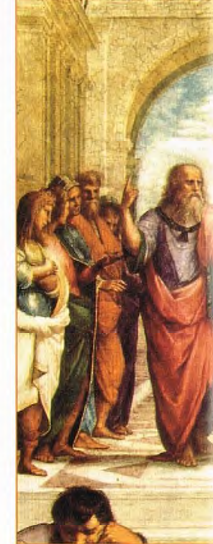
Desde siempre, la mente del hombre encuentra una gran dificultad con la idea del infinito, que filósofos y matemáticos definen como una pura abstracción mental. Sin embargo, es probable que la observación de la grandiosidad del cielo estrellado acerque más al hombre a la idealización de este concepto.

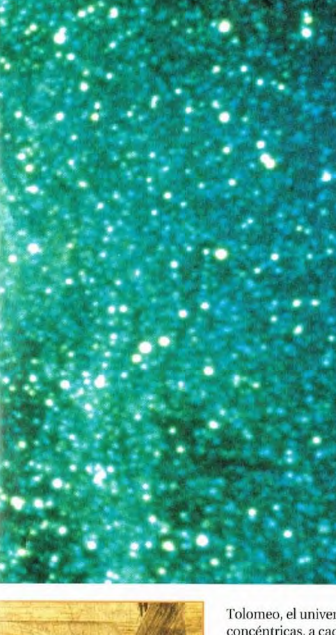
EL UNIVERSO SEGÚN LOS ANTIGUOS

Para los antiguos, el universo era ilimitado pero finito. Según las concepciones del mundo de Aristóteles y



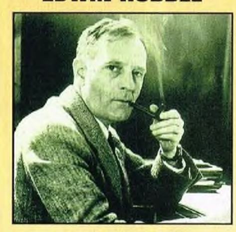
Si suponemos que nuestro universo tiene la forma de una esfera, su sección ideal observada desde la Vía Láctea sería como la que se ha representado en esta figura. Las diversas capas de la esfera corresponden a diferentes épocas de la vida del universo.





PERSONAJES

EDWIN HUBBLE



1889 - 1953

El descubrimiento del movimiento de alejamiento de las galaxias lo efectuó el astrónomo estadounidense Edwin Hubble durante los años treinta. El caso personal de Hubble es bastante curioso. Aunque ha entrado en la historia de la ciencia como uno de los astrónomos más importantes, Hubble era en realidad un abogado que se acercó a la astronomía de una manera completamente casual, como simple aficionado. Al poco tiempo, Hubble se dio cuenta de que era mejor como astrónomo que como hombre de leyes e interrumpió su profesión legal para dedicarse de lleno a la astronomía. Al estudiar los espectros emitidos por las galaxias lejanas, Hubble observó que la longitud de onda de algunas rayas espectrales era mayor que la de las mismas rayas producidas en el laboratorio.
Este fenómeno es la consecuencia del denominado efecto Doppler. Cuando la fuente está alejándose del observador, aumenta la longitud de onda de la luz que éste ve, por lo que la luz aparece desplazada hacia el rojo. En cambio, cuando la fuente se está acercando, la longitud de onda disminuye y la luz aparece desplazada hacia el azul. En cada caso, la variación relativa de la longitud de onda observada es proporcional a la velocidad con que la fuente se aleja o se acerca al observador. Por tanto, el efecto observado en los espectros de las galaxias estudiadas por Hubble se explicaba suponiendo que se estaban alejando de la nuestra. Hubble también consiguió deducir que existía una proporcionalidad entre la distancia de una galaxia y su velocidad de alejamiento.



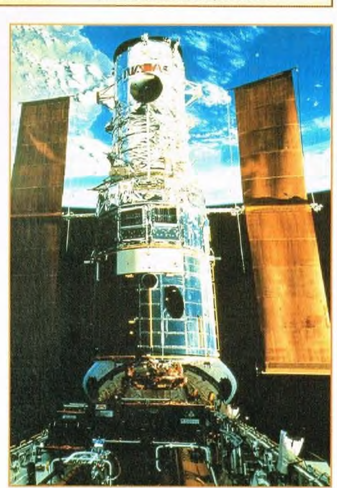
Tolomeo, el universo constaba de una serie de esferas concéntricas, a cada una de las cuales correspondía un cuerpo celeste. Así, había una esfera para la Luna, una para el Sol y una para cada planeta. La última esfera, la más exterior, se llamaba de las estrellas fijas, en la que estaban engarzadas todas las estrellas visibles a simple vista. La esfera de las estrellas fijas representaba el confín del universo, más allá del cual sólo existía la nada. Por tanto, el universo tenía un tamaño bien preciso y todas las estrellas estaban a la misma distancia de la Tierra.

Hoy sabemos que todo esto no es así y que la aparente equidistancia de los cuerpos celestes a nuestro planeta sólo es un efecto de perspectiva. En efecto, a lo largo de los siglos, el hombre ha aprendido a medir la distancia de los cuerpos celestes con una precisión cada vez mayor. De esta manera, ha podido descubrir que las estrellas y las galaxias no están situadas a la misma distancia de la Tierra, sino que algunas están más próximas y otras más alejadas. Esto implica que el universo debe ser mucho mayor de lo que se pensaba.

En resumen, el universo posee una tercera dimensión espacial. Además, la astronomía moderna ha demostrado que esta tercera dimensión cambia con el tiempo, porque nuestro universo se está expandiendo.

EL UNIVERSO EN EXPANSIÓN

Descubrir el movimiento que aleja las galaxias ha constituido la base de observación sobre la que después se han edificado las modernas teorías



Arriba, fotografía tomada desde el transbordador espacial, en la que se ve la puesta en órbita del Hubble. A la izquierda, en la **Escuela de Atenas*****, de Rafael, aparecen representados filósofos y científicos de la antigua Grecia, entre ellos, el mismo Aristóteles.***





Arriba, imagen de la Gran Nube de Magallanes, obtenida a través de un filtro ultravioleta durante la misión Apolo 16. A la derecha, la Gran Nube de Magallanes es una galaxia satélite de la Vía Láctea que se encuentra a una distancia de unos 150.000 años luz. La Gran Nube de Magallanes forma parte junto con la nuestra de un grupo de galaxias llamado Grupo Local.

cosmológicas, porque, al contrario de todas las demás disciplinas científicas, la astronomía formula sus teorías en base a la observación y no sobre resultados experimentales. Por ejemplo, sería difícil pensar en la creación artificial de una estrella para seguir su evolución desde el principio. La teoría más acreditada es la del Big Bang, según la cual el universo, después de la explosión inicial, se encontraría actualmente en fase de expansión.

Por este motivo es imposible asignar un tamaño preciso al universo, porque sus límites se están ampliando lentamente. Sólo es posible tener una idea de sus dimensiones en un momento determinado. De hecho, el radio del universo sería igual al espacio recorrido por los fragmentos de la explosión desde el instante del Big Bang hasta el momento considerado. Naturalmente, habría que conocer la velocidad de expansión del universo, que coincide con la velocidad de recesión de los fragmentos de la explosión primordial. Una vez conocida la velocidad de recesión, es posible utilizar la ley de Hubble para calcular el espacio recorrido por estos últimos en un intervalo de tiempo determinado. Sin embargo, los cálculos de este tipo no son tan sencillos como parecen.

En primer lugar, el flujo luminoso de un objeto tan alejado es también muy débil. Por este motivo, es extremadamente difícil obtener su espectro y medir el desplazamiento de sus rayas de emisión. En segundo lugar, el valor de la constante de Hubble, es decir, el parámetro que relaciona la velocidad de alejamiento de un astro con su distancia, todavía es objeto de estudio y profundización.

LOS LÍMITES DEL UNIVERSO

Según las estimaciones más precisas disponibles actualmente, el radio del universo debería ser del orden de 15.000 millones de años luz: una distancia muy grande incluso para los estándares astronómicos.

La observación de una galaxia tan alejada es una tarea muy complicada. En efecto, el flujo luminoso emitido por un objeto disminuye con el cuadrado de su distancia. Por tanto, cuanto más alejado esté el objeto, más débil aparecerá. Por ejemplo, tomemos la galaxia más próxima a la Vía Láctea, la Gran Nube de Magallanes, fácilmente visible a simple vista. Si imaginamos que la trasladamos al límite del universo, la veríamos unos 10.000 millones de veces menos brillante y, por tanto, casi en el límite de la observación.

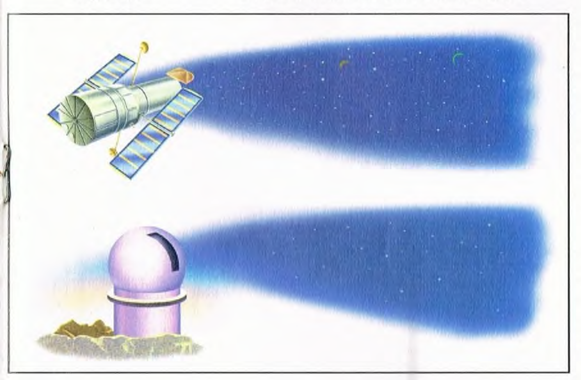
Para observar objetos tan débiles y alejados, es necesario emplear los telescopios más grandes y más modernos de que disponemos. Por este motivo, el estudio del universo lejano es, desde el punto de vista de la observación, uno de los campos más difíciles de la astronomía. En cualquier caso, es importante

Abajo, imagen de la galaxia espiral M100, tomada con la Wide Field and Planetary Camera del telescopio espacial Hubble, en los primeros meses de 1994.





Abajo, la mayor sensibilidad del telescopio espacial Hubble respecto a la de sus «colegas» terrestres ha permitido observar objetos extremadamente débiles y, por tanto, detectar un número de galaxias mayor del previsto.



destacar que el estudio del universo lejano no consiste simplemente en medir las dimensiones del universo.

UN VIAJE POR EL TIEMPO

A medida que nos desplazamos cada vez más lejos en el espacio, también retrocedemos en el tiempo. La luz se propaga con una velocidad finita y, por tanto, tarda cierto tiempo en llegar a nosotros. Por poner un ejemplo, si una galaxia está a una distancia de 15.000 millones de años luz, su luz emplea exactamente 15.000 millones de años en recorrer la distancia que la separa de la Tierra. Esto quiere decir que, cuando observamos esta galaxia, no la vemos tal como es actualmente, sino tal como era hace 15.000 millones de años, o sea, cuando partió la luz que ahora nos llega. De esta manera, en manos de los astrónomos, el telescopio se convierte en una verdadera máquina espacio-temporal que permite remontarse en el tiempo y ver el universo tal como aparecía en un pasado lejano.

Por tanto, observar los objetos más alejados es importante, porque permite estudiar las propiedades del universo en su «infancia» y, en consecuencia, comprender cómo se formaron sus principales componentes, como las galaxias o las estructuras cósmicas aún más grandes, los cúmulos de galaxias y los supercúmulos. Además, recorrer hacia atrás la vida del universo permite observar cómo han ido cambiando sus características desde los primeros instantes de su vida y, por tanto, estudiar la evolución que ha sufrido.

Comprender cómo ha evolucionado el universo en el pasado es un requisito fundamental para predecir su evolución futura y, por tanto, su destino final. ¿Qué esperamos ver cuando nos desplazamos a estas distancias? Seguramente esperamos ver objetos muy jóvenes e incluso en formación. La visión más completa y profunda del universo lejano obtenida hasta ahora la ha proporcionado el telescopio espacial Hubble. Debido al reducido campo visual de este telescopio, las dimensiones de la zona de cielo observado resultan bastante pequeñas: un cuadrado con un lado del orden de 2,6 minutos de arco.



Imagen de la galaxia irregular NGC 3034 en la constelación de la Osa Mayor. Las formas irregulares son típicas de las galaxias en formación que poblaban el universo joven. El color azul de las regiones centrales de las galaxias indica una intensa actividad de formación estelar.

Sin embargo, el campo observado por el Hubble puede considerarse como representativo de la distribución típica de galaxias en el espacio, porque, desde un punto de vista estadístico, el universo aparece más o menos similar en todas direcciones.

LA INFANCIA DEL UNIVERSO

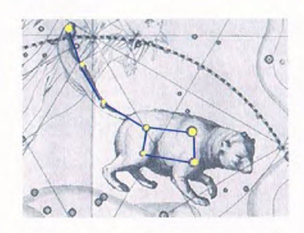
En el interior de este campo, el telescopio espacial Hubble ha permitido descubrir una cantidad de 1.500 galaxias por lo menos, todas a diferentes distancias y, por tanto, en estados de evolución diferentes. Debido a sus grandes distancias (más de 10.000 millones de años luz), muchas de estas galaxias aparecen tan débiles que hasta ahora no se habían podido observar ni con los mayores telescopios terrestres. En efecto, la luminosidad aparente de la mayor parte de ellas es unos 4.000 millones de veces más débil que los objetos visibles a simple vista.

Como los objetos más débiles y distantes también son los más alejados en el tiempo, las imágenes del Hubble constituyen una clara visión de cómo aparecía el universo hace más de 10.000 millones de años. Por primera vez, en estas imágenes pueden verse numerosas galaxias jóvenes o recién nacidas y otras de forma muy irregular que, probablemente, todavía están en fase de formación. Por primera vez, el Hubble habría logrado «fotografiar» galaxias en el momento preciso en que nacían y, por tanto, en estado embrionario.

Estudiando estos datos, los astrónomos están tratando de establecer en qué edad del universo empezaron a formarse las galaxias y, sobre todo, cuáles son las condiciones que han llevado a su formación. Además, comparando las características de estas galaxias lejanas, y por tanto jóvenes, con las de las galaxias más cercanas, y por tanto más viejas, es posible establecer una hipotética línea evolutiva.

LA OSA MENOR

Siempre resplandeciente en el hemisferio boreal, la constelación de la Osa Menor no se pone nunca y contiene el polo Norte celeste.



La constelación de la Osa Menor representa el animal en que fue convertido Arcas, el hijo de la bellísima Calisto.



Aunque la constelación de la Osa Menor está constituida por estrellas de escasa luminosidad, es una de las más importantes de nuestro cielo. Contiene el polo Norte celeste y cerca de ella se encuentra la estrella Polar, que muchos creen erróneamente que es la más brillante del cielo.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Dada la baja luminosidad de las estrellas que la componen, para ver bien esta constelación es necesario un cielo limpio. La Osa Menor se puede localizar a través de la estrella Polar, que se encuentra alineada con Alfa *Ursa Majoris* (Dhube) y Beta *Ursae Majoris* (Merak).

LAS ESTRELLAS PRINCIPALES

La más importante de las estrellas de la Osa Menor es Alfa, o *Polaris*, la estrella Polar (magnitud 2), que representa el extremo de la cola de la osa. Está cerca del polo Norte celeste, a una distancia aproximada de 1°. En el próximo siglo, todavía estará más cerca del polo debido al fenómeno de la precesión, que produce un desplazamiento de los polos celestes. La estrella Polar, situada a unos 680 años luz de la Tierra, es una estrella interesante: con un telescopio de unos 10 cm de apertura se puede localizar junto a ella una débil compañera de magnitud 9. Sin embargo, la observación de la compañera de la Polar es difícil debido a la gran diferencia de luminosidad entre las dos estrellas, del orden de siete magnitudes.

Pero lo que hace que la estrella Polar sea de gran interés es el hecho de que es, o mejor dicho era hasta hace poco tiempo, una estrella variable del tipo de las cefeidas, que son unas estrellas que pulsan de manera regular. Así lo hacía la Polar, pero con el paso del tiempo la amplitud de sus oscilaciones de luminosidad se han ido reduciendo cada vez más hasta llegar, hace pocos años, a ser inapreciable. Por tanto, parece que la estrella Polar ha finalizado su fase pulsante y ha entrado en un período de estabilidad. La razón de este cambio todavía se desconoce.

Gamma o Pherkad (magnitud 3) es otra estrella que varía de una manera sorprendente: su luminosidad cambia aproximadamente en 0,1 de magnitud en el lapso de pocas horas y de manera bastante complicada, sin aparente regularidad. El nombre actual de esta estrella deriva de la denominación árabe *Alifa al Farkadain.*

La Osa Menor no contiene objetos no estelares (cúmulos, galaxias, etc.) de interés particular. Sin embargo, su posición en la bóveda celeste favorece la observación, precisamente por su proximidad al polo Norte celeste. Además, sus estrellas constituyen un conjunto útil para evaluar la transparencia del cielo: la estrella Polar es lo bastante luminosa para poder ser vista en cualquier noche serena, pero las demás requieren cielos muy limpios. La nitidez del cielo puede evaluarse a partir del número de estrellas visibles de esta constelación. Sólo en las noches más límpidas se puede identificar por completo la Osa Menor.



El polo Norte celeste está situado cerca de la estrella Polar, que puede identificarse partiendo de dos estrellas del Carro.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

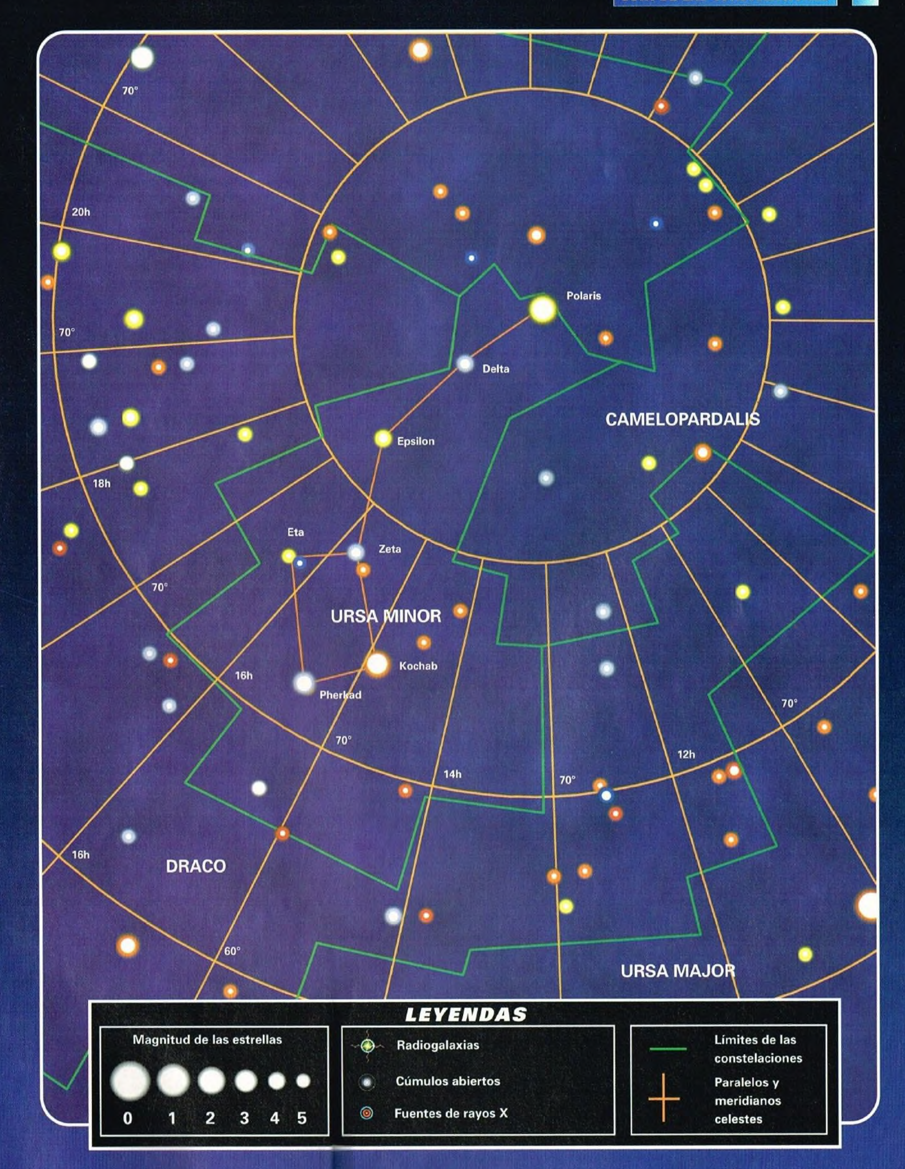
LA OSA MENOR

En una leyenda de la Antigüedad clásica, se relaciona la Osa Menor con su vecina, la Osa Mayor. Según este mito, Calisto, hija de Licaón, rey de Arcadia, suscitó la envidia de Juno por su belleza, hasta tal punto que decidió transformarla en una osa. Pero un día, Arcas, hijo de Calisto, durante una batida de caza se encontró casualmente con su madre convertida en osa y, al no reconocerla, la mató. Gracias a la piadosa intervención de Juno, Arcas también fue transformado en un oso, y madre e hijo fueron colocados en el cielo: Calisto se convirtió en la Osa Mayor y Arcas en la Osa Menor.

DÓNDE BUSCARLA

LA OSA MENOR

La Osa Menor abarca una región del cielo comprendida entre 60° N y 90° N de declinación, y entre 13 horas y 18 horas de ascensión recta. Es íntegramente visible todo el año desde latitudes al norte de 30° N y parte del año desde la zona situada entre 30° N y el ecuador. Por debajo del ecuador, nunca es íntegramente visible. Midiendo el ángulo que forma la estrella Polar con el horizonte, se obtiene una medida aproximada de la latitud del punto de observación. Por lo tanto, un observador situado en el polo Norte terrestre vería esta estrella en el cenit, mientras que si estuviera en el ecuador la vería en el horizonte.


70°
20h
70°
18h
70°
16h
16h
60°
70°
14h
70°
12h
70°
Polaris
Delta
Epsilon
Eta
Zeta
Kochab
Pherkad
CAMELOPARDALIS
URSA MINOR
DRACO
URSA MAJOR
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Radiogalaxias
Cúmulos abiertos
Fuentes de rayos X
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LOS COHETES

Originariamente los cohetes fueron desarrollados para finalidades bélicas. Si bien hoy han adquirido grandes dimensiones, su funcionamiento se basa en los mismos principios que los de sus predecesores.



El 3 de octubre de 1942, en plena segunda guerra mundial, el general de división Walter Dornberger, comandante militar de la base de investigación aeroespacial de Peenemünde (Alemania), en las costas del mar Báltico, exclamó: «¡Hoy ha nacido la astronave!». Era el alba de los viajes al espacio. Dornberger estaba hablando con un joven proyectista aeroespacial cuyo nombre se haría famoso: Wernher von Braun. El cohete era un A-4, diseñado para convertirse en una nueva y devastadora arma secreta. Pero Dornberger y von Braun eran también unos apasionados de los viajes espaciales.

El A-4 era un cohete metálico, de forma parecida a la de un lápiz, que despegó verticalmente partiendo de una plataforma de hormigón armado y aceleró mientras subía hacia el cielo. Después de una arrancada de 63 segundos, cuando el cohete todavía era visible, el combustible se agotó, pero el misil continuó su trayectoria hasta una altura de 85 km, convirtiéndose así en el primer objeto artificial del espacio y cayendo luego en el mar Báltico después de 190 km de vuelo.



El doctor Robert H. Goddard fotografiado junto a su cohete, el primero del mundo con propulsante líquido. El lanzamiento tuvo lugar en un campo de las afueras de Auburn, Massachusetts, el 16 de marzo de 1926. El cohete de Goddard alcanzó una cota de 12 m y recorrió una distancia de 56 m.

Los chinos, que ya fabricaban fuegos artificiales hace mil años, lanzaban flechas utilizando tubos y explosivos.

ARMAS DE GUERRA

En el transcurso de los siglos, los cohetes se han diseñado y utilizado a menudo para finalidades bélicas. Los primeros cohetes, conocidos como «flechas de fuego voladoras», probablemente fueron ideados en China durante la dinastía Song (960-1279). Se trataba de unos tubos rellenados con una mezcla de carbón vegetal, salitre (nitrato de potasio) y azufre.

Sin embargo, no todos entendían el uso de los cohetes como medios de destrucción: los escritores de ciencia-ficción del siglo XIX, como Julio Verne y H.G. Wells, imaginaron su utilización para viajar por el espacio. En Rusia, Konstantin Tsiolkovski (1857-1933) fue el primero en sugerir la construcción de satélites artificiales y de cohetes de propulsante líquido. Entre sus ideas más originales e interesantes, se encontraba el llamado «cohete-tren» o cohete de múltiples fases, capaz de soltar las diversas fases que lo constituían a medida que se iba agotando el combustible de sus depósitos.

LA INNOVACIÓN: EL COMBUSTIBLE LÍQUIDO

El primer lanzamiento de un cohete con propulsante líquido se efectuó el 16 de marzo de 1926, gracias a los trabajos del científico estadounidense Robert Goddard (1882-1945), que construyó su prototipo con pedazos de tubo y desechos metálicos y después, gracias a las subvenciones que obtuvo, logró construir cohetes capaces de alcanzar varios kilómetros de altura. Al mismo tiempo, en Europa, Hermann Oberth (1894-1989) inspiró a los entusiastas de los vuelos espaciales con su libro *El cohete en el espacio interplanetario*. Empezaron a fundarse las primeras sociedades para la construcción de cohetes y entre sus miembros se contaban Sergei Korolev, que más tarde se convirtió en el principal proyectista de cohetes soviéticos, y el mismo Wernher von Braun.

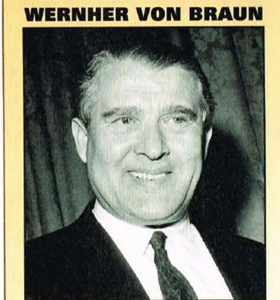
ARMAS DE REPRESALIA: LAS V-2

Durante los años treinta, la Alemania nazi estaba buscando nuevas vías para reforzar sus fuerzas armadas. El deseo de Hitler se centraba en el desarrollo del arma definitiva que superase el alcance de cualquier cañón existente. Esto condujo al nacimiento del cohete A-4, proyectado por von Braun y que se hizo famoso con el nombre de Vergeltungswaffe 2 (Arma de represalia 2) o V-2. Era el primer misil guiado del mundo. A pesar de que, afortunadamente, llegó demasiado tarde para cambiar la suerte de la guerra en favor de Alemania, en sólo siete meses cayeron 1.100 V-2 sobre Inglaterra y otros 1.750 sobre objetivos de Europa.

Después del final del conflicto, la tecnología espacial alemana se convirtió en un recurso apetecido, y von Braun y muchos

PERSONAJES

WERNHER VON BRAUN



1912 - 1977

A los 20 años, el más famoso científico aeroespacial de Alemania empezó a diseñar cohetes para las fuerzas armadas alemanas, lo que le llevó a la creación del A-4, o bomba V-2, empleado para bombardear Europa. En 1945, von Braun y cien de sus colaboradores pasaron a Estados Unidos, donde trabajaron en experimentos con las V-2 capturadas. En enero de 1958, el cohete Juno 1, proyectado por von Braun, se empleó para poner en órbita el primer satélite estadounidense, el Explorer 1. A partir de 1959, el equipo del científico alemán desarrolló una serie de cohetes cada vez más potentes, que culminaron con el Saturno V, el cohete más seguro y potente jamás construido. Von Braun fue director del Marshall Spaceflight Centre de Huntsville (Estados Unidos), hasta 1970.

Arriba, la centésima misión espacial del transbordador, con tripulación a bordo, despega del Centro Espacial Kennedy, en Florida, el 27 de junio de 1995. El transbordador Atlantis es uno de los cuatro vehículos espaciales reutilizables. Cada uno de ellos se lanza con dos cohetes de propulsante sólido **(boosters)** ***montados a cada lado del depósito exterior. En el despegue, estos cohetes desarrollan el 80% del empuje y dos minutos después se sueltan.***



El Ariane 5 es el nuevo vector europeo, que emplea depósitos de oxígeno e hidrógeno líquidos, asociados a dos cohetes de combustible sólido. En la imagen puede verse un motor de combustible sólido durante unos ensayos.

de sus colaboradores fueron enviados a Estados Unidos junto con cohetes no utilizados y piezas de repuesto, mientras que los demás miembros del equipo de investigación y gran parte de las instalaciones fueron capturados por los soviéticos. En los años siguientes, algunos V-2 fueron modificados y probados por las dos superpotencias. Esta carrera hacia el espacio condujo al desarrollo del primer misil balístico intercontinental (ICBM).

LA RIVALIDAD POR EL PRIMER SATÉLITE

El equipo de von Braun, que después de la guerra trabajaba para el ejército de Estados Unidos, construyó con éxito el potente cohete Júpiter-C, pero el gobierno de aquel país dio prioridad al proyecto Vanguard de la marina para lanzar el primer satélite. Sin embargo, el 4 de octubre de 1957, la Unión Soviética anunció que había lanzado el primer satélite artificial que orbitaba el mundo, el Sputnik 1. Dos meses más tarde, en el momento de su primer lanzamiento, el Vanguard estadounidense perdió empuje, se desvió hacia la Tierra y explosionó. Entonces, el equipo de von Braun recibió el encargo de colocar en órbita el primer satélite de EEUU, el Explorer 1, lo que se llevó a cabo el 31 de enero de 1958.

LA REVANCHA DE EEUU

La supremacía soviética en este campo duró hasta la aparición de los cohetes estadounidenses Saturno, a finales de los años sesenta. El mayor de ellos fue el Saturno V, que efectuó 13 lanzamientos (con éxito) y llevó a los primeros hombres a la Luna. Sin embargo, estos cohetes eran demasiado grandes y costosos para un uso regular. En consecuencia, la NASA dirigió su atención hacia un transbordador espacial reutilizable. A continuación, la Unión Soviética decidió seguir los pasos de los estadounidenses y construyó el gigantesco cohete Energía, diseñado para lanzar el transbordador Buran.

Europa también desarrolló sus propios lanzadores. El primer cohete Ariane despegó de la Guayana Francesa en diciembre de 1979. En los años ochenta y noventa, se construyeron el Zenit ucraniano y el H-2 japonés. A pesar de esta evolución, la mayoría de los lanzadores actuales se basan aún en los misiles militares de los años cincuenta y sesenta.

¿QUÉ ES UN COHETE?

Los cohetes están diseñados para volar donde el aire está demasiado enrarecido para permitir el empleo de aviones y, para ello, deben poder quemar combustible en el vacío cósmico. Además, el cohete necesita un sistema de guía y control, y debe permitir el transporte de una carga útil, normalmente un satélite alojado en su morro. A menudo, la carga útil constituye la razón comercial de un lanzamiento. Un satélite medio tiene un coste de unos 100 millones de dólares.

Con la excepción de los transbordadores espaciales, todos los cohetes empleados actualmente se pierden, lo que significa que el cohete no se recupera en su totalidad

COHETE DE DOS FASES

El cohete japonés H-2 (49 m de altura) fue lanzado en febrero de 1994. Los dos cohetes de combustible sólido se emplearon al mismo tiempo que el motor principal en el despegue y luego se soltaron una vez agotado su empuje. Después de quedar vacíos los depósitos de combustible líquido de la primera fase, ésta fue abandonada. El motor de la segunda fase empujó el resto del vehículo hasta la altura preestablecida.

Carga útil (en el dibujo se muestra un satélite de comunicaciones)

Carenados que hacen más aerodinámico el perfil y protegen la carga útil

Equipamiento de a bordo, constituido esencialmente por el sistema de guiado

Depósito de hidrógeno líquido de la segunda fase

Depósito de oxígeno líquido de la segunda fase

Motor de la segunda fase (LE-5 mejorado) en el que se mezclan y queman el hidrógeno y el oxígeno

Depósito de oxígeno líquido de la primera fase

Depósito de hidrógeno líquido de la primera fase

Cámara de combustión

Motor principal (LE-7) de la primera fase, en cuyo interior se mezclan y queman el hidrógeno y el oxígeno

Cohetes de combustible sólido *(boosters)*



LOS COHETES SONDA

Muchos cohetes de pequeñas dimensiones se emplean para explorar las capas superiores de la atmósfera o para efectuar experimentos sobre los efectos de la microgravedad. Estos cohetes de investigación, llamados cohetes sonda, permiten llevar al espacio, a bajo coste, pequeñas cargas útiles y disponer de algunos minutos de ingravidez. Casi todos los cohetes sonda utilizan combustibles sólidos. Cuando los depósitos quedan vacíos, se desenganchan y caen a tierra. La sonda Skylark (arriba) puede llevar cargas de hasta un máximo de 350 kg a alturas entre 150 y 1.000 km.

después de haber puesto en órbita el o los satélites. En su mayor parte, los cohetes modernos están compuestos de varias fases, cada una de ellas equipada con un motor y un depósito de combustible propios. La primera fase es la más potente, porque debe levantar de tierra el peso de todo el cohete con la carga completa. A medida que avanza el vuelo y se va consumiendo combustible, todos los pesos muertos se abandonan, soltándose las fases que han cumplido su tarea.

UNA CONSTRUCCIÓN EFICIENTE

Una manera de hacer más eficiente un cohete consiste en reducir su peso. El cohete estadounidense Atlas y la fase superior Centaur están construidos con acero inoxidable muy fino (sólo 0,36 mm de espesor). Esta cubierta exterior se presuriza como un globo aerostático.

El combustible constituye más del 90% del peso en el momento del lanzamiento. Los propulsantes sólidos se emplean en los cohetes de pequeñas dimensiones y en los cohetes exteriores, como los del transbordador espacial y los del Ariane. Los cohetes de combustible líquido son más complicados y más caros: requieren dos depósitos separados, uno para el agente oxidante y otro para el combustible. Las turbobombas envían los propulsantes a la cámara de combustión, donde son mezclados y encendidos. Los mejores propulsantes producen un chorro de alta velocidad y cuanto más rápido se desplazan los gases de escape en una dirección más rápido se mueve el cohete en dirección opuesta. Los propulsantes deben tener una temperatura de combustión elevada, una densidad baja y no ser tóxicos. Los primeros cohetes de combustible líquido empleaban alcohol, que luego fue sustituido por queroseno y más tarde por sustancias como la hidracina.

Como en el vacío cósmico no hay atmósfera, los cohetes deben llevar su propia reserva de oxidante, a menudo oxígeno líquido, pero no es raro que también utilicen ácido nítrico o dióxido de nitrógeno. Algunos combustibles se encienden al ponerse en contacto entre sí y por lo tanto no es necesario el encendido.

A la derecha: A-1 SPUTNIK (URSS). Este ICBM del tipo R-7 modificado lanzó el Sputnik 1, el primer satélite artificial de la historia, el 4 de octubre de 1957. La célula central estaba rodeada de cuatro cohetes exteriores que utilizaban queroseno y oxígeno líquido. Las últimas versiones han puesto en órbita las tripulaciones rusas.

A la derecha: A-4/V2 (ALEMANIA). La Vergeltungswaffe 2 (Arma de represalia 2) fue el punto de partida de todos los cohetes modernos. El primer vuelo tuvo lugar el 3 de octubre de 1942 (altura: 85 km; alcance: 190 km).

A la derecha: SATURNO V (EEUU). El cohete lunar estadounidense, de 111 m de altura y un peso de 3.000 toneladas, fue el mayor y más potente lanzador jamás construido. El primer lanzamiento fue un ensayo sin tripulación, efectuado en 1967.

Abajo: MERCURY-ATLAS (EEUU). El 20 de febrero de 1962, un ICBM Atlas modificado lanzó al espacio al primer astronauta estadounidense, John Glenn, a bordo de la cápsula Mercury 6.

A la izquierda: TRANSBORDADOR ESPACIAL (EEUU). El primer vector espacial reutilizable fue lanzado el 12 de abril de 1981 desde Florida. No sólo es reutilizable el vehículo orbitador, sino también los cohetes de combustible sólido exteriores. Sólo se pierde el gigantesco depósito central, que se desengancha ocho minutos después del lanzamiento.

PRINCIPALES LANZADORES

Después de los V-2 de la segunda guerra mundial, se efectuaron interesantes desarrollos en la tecnología aeroespacial. Aquí se han representado a escala los cinco proyectos más innovadores.

OJOS SOBRE EL PLANETA

El espacio ha resultado ser un lugar único para espiar las fuerzas militares enemigas. Con esta finalidad, se han gastado ingentes cantidades de dinero. Sin embargo, después de la guerra fría, se produjeron importantes trasvases tecnológicos hacia la astronáutica civil.



El uso de los satélites para fines militares ya lo habían previsto estadounidenses y soviéticos incluso antes de nacer la astronáutica. No es ningún secreto que una gran parte de la actividad espacial encontró un notable impulso en las necesidades militares.

Aún hoy, el empleo del espacio para estos fines se efectúa mediante varios tipos de satélites, clasificados en base a las tareas que desempeñan.

SATÉLITES ESPÍA Y DE OBSERVACIÓN

Debido a su finalidad, los satélites espía y los de observación fueron los primeros que se construyeron. Definidos con mayor precisión como satélites de reconocimiento los primeros y satélites de prealarma los segundos, su empleo y puesta en órbita fueron previstos de forma abierta por los estadounidenses en los tiempos anteriores al lanzamiento del Sputnik.

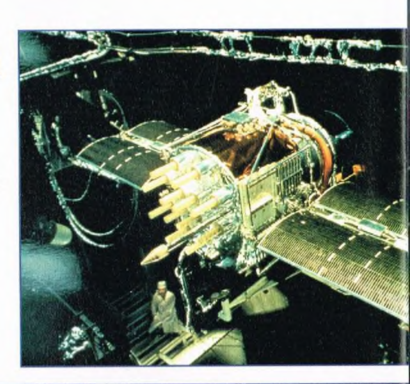
Sin embargo, el primer envío al espacio de uno de estos ingenios no se produjo hasta el 28 de febrero de 1959. El satélite de reconocimiento se llamaba Discoverer 1 y partió de la base de lanzamientos de Vandenberg. Alcanzó una órbita comprendida entre 163 y 968 km de altura. A este lanzamiento siguieron otros muchos, de acuerdo con un primer programa que finalizó el 27 de febrero de 1962 con el trigésimo octavo lanzamiento. Estos satélites se habían puesto en órbita con cohetes de diversos tipos según su peso: se utilizaron cohetes Thor, Atlas y Titán.

En realidad, el satélite Discoverer puede definirse de forma más adecuada como un cohete-satélite, porque se trataba de un cilindro de unos 6 m de longitud y 1,5 m de diámetro, y estaba equipado con un cohete que le permitía moverse por el espacio a grandes distancias.

Una vez llevada a término la misión de reconocimiento, del cohete-satélite llamado Agena se desprendía una cápsula en cuyo interior estaban almacenadas las fotografías que se habían tomado. La cápsula volvía entonces a la Tierra.

El 25 de febrero de 1960 partió el primer satélite de prealarma, el Agena-Midas, que debería haber

A la derecha, un satélite GPS que sirve para definir la posición de un punto de la superficie terrestre con la máxima precisión. Puede considerarse uno de los primeros satélites militares estadounidenses de última generación al que los civiles han tenido acceso.



El uso del espacio para fines militares lo habían considerado tanto los estadounidenses como los soviéticos, antes del Sputnik.

Los cohetes utilizados por los estadounidenses para la puesta en órbita de sus satélites militares han sido sobre todo los Thor, Atlas y Titán (en la fotografía de la derecha se muestra la partida de un Titán). En cambio, los soviéticos han utilizado, sobre todo, cohetes Vostok y Soyuz, cuyos nombres derivan de las cargas que ellos mismos han puesto en órbita para finalidades científicas y tecnológicas.



detectado el lanzamiento de misiles enemigos gracias a sus sensores de infrarrojos. A pesar de algunos fracasos, los satélites Midas abrieron el camino a los IMEWS (Integrated Missile Early Satellite), más sofisticados, con los cuales se logró rápidamente el objetivo previsto. Partieron de cabo Cañaveral con cohetes lanzadores Titán 3C.

Volviendo a los cohetes-satélite Agena, hay que recordar que, gracias a sus más que satisfactorios resultados, también se utilizan para llevar al espacio otros tipos de cargas militares.

Entre ellos no puede dejar de mencionarse el Midas, cuya sigla procede de Missile Defence Alarm System. Era un satélite pensado para descubrir con anticipación el lanzamiento de misiles enemigos. Fue enviado al espacio el 31 de enero de 1961 y colocado en una órbita próxima a los 500 km de altura.

Un importante paso adelante en la captación de imágenes de la Tierra desde el espacio se dio con los satélites Samos, a bordo de los cuales un escáner leía, mediante un haz de electrones, las fotografías tomadas y reveladas en el mismo satélite. Luego, los datos se enviaban a tierra, donde la señal recibida se convertía posteriormente en imágenes.

Esta innovación se aplicó más tarde a las sondas Lunar Orbiter, que realizaron de esta manera las primeras fotografías cercanas de la Luna obtenidas por la NASA. Los soviéticos no se hicieron esperar; su primer satélite de reconocimiento partió el 26 de abril de 1962: era el Cosmos-4.

En realidad, se trataba de una cápsula similar a la Vostok, que había llevado al primer hombre al espacio, Yuri Gagarin, modificada para captar imágenes fotográficas y poder ser recuperada en tierra algunos días después con el precioso material.

A partir de 1966, los satélites llevaron a bordo máquinas fotográficas que podían fotografiar la Tierra con diversas longitudes de onda, para obtener así imágenes mucho más detalladas.

En 1968, los soviéticos, prosiguiendo sus trabajos de reconocimiento terrestre, enviaron al espacio un satélite Vostok, en cuyo interior se había instalado una cámara de cine, que por primera vez filmó una película de nuestro planeta. Otra primicia de este ingenio era la posibilidad de maniobrar la cápsula en órbita mediante órdenes enviadas desde tierra.

El 15 de junio de 1971, partió de la base de Vandenberg (Estados Unidos) el Big Bird-1, que alcanzó una órbita comprendida entre 184 y 300 km, y fue el pionero de una nueva generación de satélites espía. El satélite, conocido también como LASP (plataforma de vigilancia de baja cota) era el doble de grande que su predecesor y pudo permanecer en órbita durante casi cinco meses, exactamente cinco veces más que los satélites precedentes. Con este nuevo «ojo espacial» se podían observar normalmente objetos de un tamaño de 50 cm, aunque es posible que se llegasen a distinguir objetos de sólo 15 cm. Actualmente, los satélites pueden distinguir objetos de tan sólo algunos centímetros.

Los satélites que utilizan instrumentos digitales para captar y procesar las imágenes nacieron con el lanzamiento del KH-11, que se produjo el 19 de diciembre de 1976.



Ésta es una de las primeras imágenes militares tomadas por satélite (una parte de la península de California) que el presidente de Estados Unidos Clinton decidió hacer públicas. En total, se han clasificado unas 860.000, obtenidas entre los años 1960 y 1972.

MILITARES Y CIVILES UNIDOS PARA REDUCIR COSTES

Para limitar los costes militares, que en los años sesenta y setenta alcanzaron cifras desorbitadas, sobre todo en el campo espacial, la administración Clinton ha decidido dar un paso adelante para que algunos satélites militares puedan ser utilizados para aplicaciones civiles. De esta manera, en el año 1999, los contribuyentes estadounidenses se ahorrarán cerca de 300 millones de dólares. Actualmente, ya hay cuatro satélites estadounidenses en órbita polar que se utilizan para recoger informaciones de tipo meteorológico, climático y ambiental. En el futuro, se han previsto otros tres satélites que podrían ser utilizados por civiles y militares. El primero debería lanzarse en el año 2006.

Con una Executive Order del 24 de febrero de 1995, firmada por el presidente de Estados Unidos Clinton, miles de fotografías obtenidas en los últimos decenios se desvincularon del secreto militar y se dieron a conocer al público.

Debido a su precisión, ahora pueden ser utilizadas por los investigadores para estudiar los cambios del suelo que se han producido durante 40 años.

Entre los últimos satélites de prealarma lanzados al espacio, el MSX (Midcourse Space Experiment) ofrece las máximas prestaciones. Lanzado el 24 de abril de 1996 con un cohete Delta II, el satélite fue colocado en una órbita de unos 900 km; su vida operativa aproximada será de cuatro años. Con un telescopio de infrarrojos a bordo, el satélite podrá identificar eventuales misiles enemigos y dar la alarma. Sin embargo, este satélite también servirá para fines científicos, porque algunos de sus instrumentos se utilizarán para el estudio del ozono, del dióxido de carbono y de las características de la atmósfera.

Por su parte, en los años setenta, los soviéticos sustituyeron la cápsula Vostok por el transbordador Soyuz, que resultó ser mucho más manejable.

La Unión Soviética llevó a cabo una gran labor de reconocimiento con las estaciones espaciales, primero con las SALYUT, y después con la estación espacial MIR, labor continuada hoy por Rusia.

SATÉLITES PARA LA VIGILANCIA NUCLEAR Y LA ESCUCHA ELECTRÓNICA

En plena guerra fría, entre 1963 y 1970, los estadounidenses enviaron al espacio dos generaciones de satélites llamados Vela, con la finalidad de comprobar el cumplimiento del tratado para la anulación parcial de las pruebas nucleares. Este tratado fue firmado por Estados Unidos, la Unión Soviética y Gran Bretaña en 1963. Otros satélites lanzados por los estadounidenses a partir de 1972 son los FERRET, que tienen la finalidad de captar las comunicaciones radio entre los diferentes medios militares que se mueven por la Tierra.

LOS SATÉLITES ASESINOS

Así se denominan los satélites proyectados para destruir otros satélites. Fueron sobre todo los soviéticos los que se interesaron por este tipo de objetos y quienes iniciaron los experimentos en 1967. Se trata de unos satélites que, una vez lanzados desde unas determinadas bases espaciales, son colocados en órbita terrestre y, después de un par de revoluciones alrededor de la Tierra, se acercan al satélite que debe destruirse y explosionan.

En cambio, los estadounidenses han preferido experimentar con cohetes que, llevados a altas cotas por aviones F-15, son lanzados directamente contra el objeto que hay que eliminar. Este último queda destruido por el impacto directo de una pequeña cabeza alojada en el interior de la ojiva del misil.

También otras naciones han enviado y envían al espacio satélites espía, muchos de los cuales tienen usos tanto militares como civiles.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

TAN PRÓXIMA Y MISTERIOSA

ESTRELLAS Y GALAXIAS

FAMILIAS ESTELARES

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

LA CRUZ DEL SUR

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

ONDAS DE RADIO

EL USO DEL ESPACIO

EL AGUJERO DE LA CAPA DE OZONO



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO





PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

TAN PRÓXIMA Y MISTERIOSA

Desde tiempos inmemoriales, la Luna, el satélite natural de la Tierra, es objeto de interés y de estudio por parte de los astrónomos. Sus secretos fueron revelados tras la primera legendaria misión, pero todavía quedan muchas cosas por descubrir.



La Luna es el satélite natural de la Tierra y el cuerpo celeste más próximo a nosotros.

Por este motivo, la Luna, a lo largo de la historia de la humanidad, ha sido siempre un símbolo además de un misterio que interpretar y comprender. Nuestro satélite es un cuerpo rocoso, de 3.476 km de diámetro (un cuarto del diámetro terrestre) y está tan cerca que bastan unos pequeños prismáticos panorámicos para poder observar sus detalles.

La Luna, como todos los satélites del sistema solar, gira alrededor de un planeta principal, la Tierra en nuestro caso. La vuelta completa se realiza en 27,3 días desde un sistema de referencia ligado a las estrellas. Este período de tiempo es el llamado mes sidéreo. El mes sinódico, que dura 29,5 días, es el período que tarda la Luna en completar un ciclo entero de fases y en volverse a ver desde la Tierra en la misma fase. La diferencia se debe a que mientras la Luna gira alrededor de la Tierra, ésta se mueve con respecto al Sol. Para volver a la misma fase, nuestro satélite debe completar algo más de una revolución.

HISTORIA DE LAS OBSERVACIONES

Los antiguos consideraban la Luna como el primero de los cuerpos que giraban alrededor de la Tierra; más tarde, Copérnico le quitó la condición de planeta para convertirla en compañera de nuestro viaje en torno al Sol. Dada la proximidad entre ambos astros, siempre se han

Arriba, una sugestiva imagen de la Luna tal como puede observarse desde la superficie de nuestro planeta en una noche de buen tiempo.

EL HOMBRE EN LA LUNA

Con el desembarco de los astronautas del Apolo 11 en el suelo lunar (20 de julio de 1969) se abrió un capítulo de la historia de la exploración espacial. El proyecto Apolo había sido precedido por el programa de exploración orbital automática Ranger y por el alunizaje de módulos Surveyor. Los dos hombres que por primera vez pisaron un cuerpo celeste fueron Neil Armstrong y Edwin Aldrin, que se posaron en la Luna a bordo del LEM. Los dos astronautas exploraron el satélite durante dos horas, recogieron muestras de rocas y depositaron un sismógrafo y un láser para medir la distancia Tierra-Luna.

conocido las características generales de la superficie lunar, como también se ha considerado plausible que el fenómeno de las fases se debe a una distinta iluminación por el Sol a lo largo del mes.

Lo mismo que para los demás objetos del sistema solar, el avance fundamental en el conocimiento de la Luna fue debido a Galileo, que fue el primero en describir su morfología detallada y en clasificar las estructuras visibles en mares, montañas y cráteres. Además, a partir del tamaño de las sombras, Galileo calculó que las montañas de la Luna tenían que ser más altas que las terrestres. Aunque no fuera correcta, esta descripción de la superficie lunar reforzó en los observadores de la época la idea de un estrecho parentesco entre la Tierra y nuestro satélite, lo que estimuló, además, el desarrollo de las observaciones.

Para explicar el nacimiento de las formaciones lunares, surgieron dos escuelas de pensamiento. La primera sostenía el origen volcánico de dichas estructuras, y la otra consideraba que los cráteres y los mares fueron el producto del impacto de meteoritos y de asteroides de gran tamaño. La disputa prosiguió durante los tres siglos siguientes y sólo el envío de sondas primero y de seres humanos después logró zanjar la polémica en favor de la segunda hipótesis, al menos para la mayor parte de las formaciones.

El astrónomo italiano Giovanni Riccioli publicó en 1651 un mapa detallado de la Luna en el que se asignaba nombre a la mayor parte de las estructuras lunares de la cara visible. Esta clasificación adquirió una rápida notoriedad y todavía está en uso. Los mares de la Serenidad, de la Tranquilidad y de las Tempestades, así como los cráteres *Copernicus* y Tycho, deben su nombre a este astrónomo. Debido a la hostilidad de la Iglesia hacia Galileo, el gran científico mereció sólo la atribución de un pequeñísimo cráter de apenas 15 km de diámetro. El mapa total de las dos caras de la Luna ha obligado a utilizar nuevos nombres tomados de todos los campos de la actividad humana; incluso Freud está inmortalizado en la Luna.



DATOS

LA LUNA

Masa: 7,35 x 10^{25} g
Masa: (Tierra = 1) 0,0123
Radio: 1.738 km
Densidad media: 3,34 g/cm³
Distancia a la Tierra: 384.000 km
Período de rotación: 27,3 días terrestres



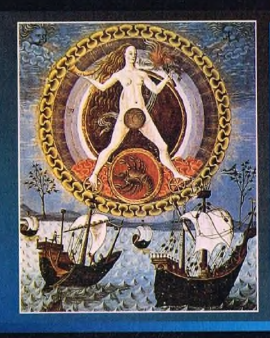
Imagen de la Luna tomada desde la Tierra con un pequeño telescopio, en la que se ven las superficies menos reflectoras, llamadas mares.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

LA LUNA EN LA MITOLOGÍA

En la antigua Grecia, la Luna tomaba el nombre de Selene y se identificaba con Artemisa, Hécate e Ío; en Roma fue objeto de un culto menor. Más tarde, adquirió importancia en las prácticas mágicas y en las creencias populares porque se le atribuían influjos benéficos y maléficos. Según los antiguos eslavos, la Luna, casada con el Sol, se enamoró de Venus y como castigo fue despedazada en cuartos: las fases.



Miniatura del manuscrito italiano del siglo XV De sphaera. *La Luna, con las mareas, extiende su influjo sobre las aguas.*

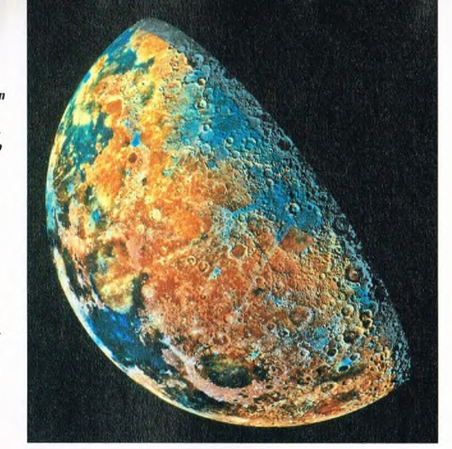
LA SUPERFICIE LUNAR

La superficie lunar es similar a la de un desierto terrestre: una capa compacta de polvo y algunas rocas. En el horizonte es posible observar colinas y montes recortados contra un cielo negro y lleno de estrellas incluso de día. El fenómeno se debe a la carencia de atmósfera. En la Tierra, es imposible observar las estrellas de día porque el cielo está iluminado por los rayos solares difundidos por la atmósfera. En la Luna, en cambio,

La foto principal muestra el típico paisaje lunar con algunas colinas al fondo. En primer plano, el astronauta Schmitt, del Apolo 17, junto a una gran roca, regresa a su jeep.



A la izquierda, imagen próxima de la Luna con algunos cráteres. Se ve en primer plano el cráter Reinhold, y, en los bordes, el cráter **Copernicus**, *formado hace mil millones de años.*



A la derecha, una reconstrucción en forma de mosaico de la superficie lunar realizada con tres filtros espectrales. Para obtener esta fotografía han sido necesarias 53 imágenes.

las estrellas siempre son visibles, incluso de día, cuando las acompaña el Sol. El suelo es un tanto accidentado, con frecuentes pendientes empinadas y pequeños relieves debidos a los impactos de meteoritos.

MARES Y TIERRAS

Los principales accidentes de la morfología lunar son los mares y las tierras.

Los mares son depresiones: se encuentran más bajas que el nivel medio del suelo, que se toma como punto de referencia en ausencia de agua en la superficie. La mayor parte de estas estructuras se encuentran en la parte orientada hacia la Tierra.

Dichas regiones se caracterizan por un número limitado de cráteres, por lo que se presentan como llanuras lisas y sin asperezas. Además, reflejan poco la luz solar y aparecen como zonas oscuras. La formación de los mares sería relativamente reciente (3.800-3.300 millones de años) respecto a la de las otras estructuras lunares, más viejas, y sería debida a enormes coladas de lava de origen volcánico.

Las tierras son regiones más elevadas, a la altura del nivel medio o incluso más altas. En general, se caracterizan por una luminosidad mucho mayor y están cubiertas de cráteres de todos los tamaños, que a veces pueden incluso superponerse.

Es posible estudiar la historia geológica de la Luna porque las nuevas formaciones se superponen a las precedentes y las recubren. Así, a través de la estratigrafía, se consigue datar las distintas zonas de la superficie. Los resultados indican la existencia de cinco sistemas estratigráficos de distintas edades, desde el más reciente, que comprende cráteres jóvenes, flujos de lava debidos al impacto de meteoritos (con el tiempo, nuevos materiales cubren estas estructuras, que se vuelven invisibles), hasta el más antiguo, que se remonta a la época de formación de la propia Luna.

En la superficie también están presentes algunas cordilleras, con montañas de hasta 6 km de altura. Su distribución no es homogénea: se encuentran sobre todo en torno a mares circulares, si bien la montaña más alta está en una región elevada próxima al polo Sur.

Abajo, imagen inédita de la Luna tomada por el Apolo 16. Se ve parte de la cara visible desde la Tierra y zonas que no son observables desde nuestro planeta.



BOMBARDEO DE METEORITOS

Como ya se ha indicado, la mayoría de cráteres y de amplias cuencas circulares se debe a la caída de meteoritos. En el caso de los grandes bólidos, la violencia del impacto provoca la salida de materiales lávicos del manto, que se mezclan con los superficiales.

El suelo lunar está casi completamente recubierto de estos cráteres de impacto; el hecho de que la Luna esté tan cerca de la Tierra y que en nuestro planeta no haya tantos cráteres tiene una explicación muy sencilla: la falta de atmósfera en la Luna. Cuando un pequeño cuerpo procedente del espacio es atraído por la fuerza de la gravedad y cae sobre la superficie, se presentan dos posibilidades. En el caso

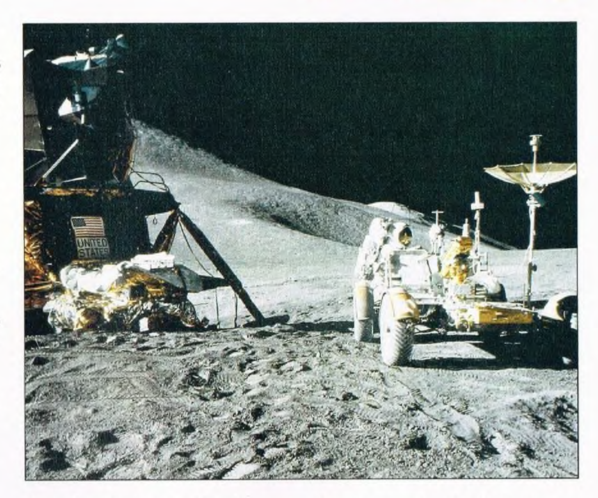
de un planeta con atmósfera, el meteorito, antes de tocar el suelo, atraviesa las capas gaseosas y se quema a causa del rozamiento que produce su enorme velocidad. Si no es demasiado masivo, la combustión reduce a polvo el objeto, el cual, por tanto, no puede ya provocar cráteres. Cuando no hay atmósfera, en cambio, incluso un bólido no mayor que un grano de arena, dada su velocidad, es capaz de causar un cráter en la superficie.

ACTIVIDAD VOLCÁNICA Y TERREMOTOS

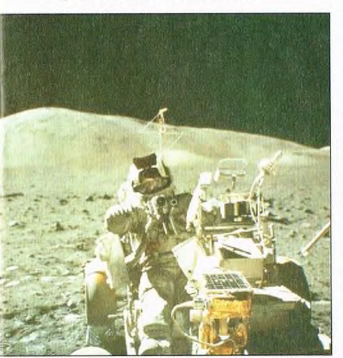
Las rocas que los astronautas han recogido cerca de los mares son mayoritariamente basaltos. En la Tierra, este material se encuentra en las cuencas volcánicas, lo que induce a pensar que en la Luna el origen es el mismo.

Según las teorías más recientes, la actividad volcánica, aunque no relevante, ha estado presente durante toda la historia lunar. Hay huellas de fenómenos que se remontan a sólo 900 millones de años de antigüedad. Hasta hace poco se creía que esta actividad sólo se produjo en los primeros 1.000 o 1.500 millones de años de la historia lunar.

Durante las misiones lunares, los astronautas depositaron sismógrafos en distintas regiones, los cuales siguieron funcionando durante algunos años e informando sobre la actividad sísmica de nuestro satélite. Se han identificado varios tipos de terremotos, debidos a causas externas o internas: el impacto de un meteorito lo bastante grande puede provocar un seísmo detectable en toda la superficie. Los terremotos debidos a causas internas son de dos tipos: superficiales y profundos. Los primeros nacen a baja profundidad en el manto, entre 50 y 300 km, pero la energía liberada en estas manifestaciones es millones de veces menor que la que corresponde a los terremotos terrestres. Probablemente, los seísmos son provocados por sucesivas dilataciones y contracciones de todo el cuerpo celeste debido al calentamiento radiactivo de parte del núcleo y el subsiguiente enfriamiento de las capas exteriores. Los terremotos profundos nacen a 1.000 km de profundidad y poseen un carácter cíclico. Aunque mucho más frecuentes que los otros, liberan muy poca energía comparada con la de los seísmos superficiales.

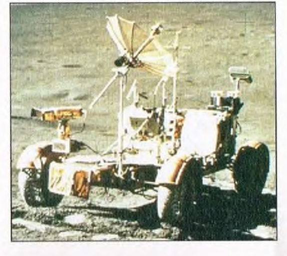


Arriba, los astronautas del Apolo 15 suben a un jeep que les permitirá explorar zonas alejadas del punto de alunizaje.



A la izquierda, el astronauta Harrison conduciendo su jeep, especialmente diseñado para las misiones lunares.

Abajo, el Lunar Rover, utilizado por los astronautas del Apolo 17.

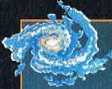


Una teoría muy acreditada sobre estos terremotos los atribuye a las fuerzas de marea terrestres, que también explicarían la coincidencia entre su carácter cíclico y la rotación de la Luna alrededor de la Tierra.

EL INTERIOR DE LA LUNA

La estructura interna de nuestro satélite es parecida a la de la Tierra, con diferentes proporciones entre sus distintos elementos. El núcleo ferroso es muy pequeño (unos 700 km de diámetro), mientras que el manto ocupa gran parte del volumen del cuerpo celeste. La corteza es muy delgada, con un espesor desigual en las dos caras: unos 100 km en la cara opuesta a la Tierra y unos 60 km en la cara visible.

Así se explica la diferente morfología de las dos caras de la Luna: la cara oculta presenta una superficie casi totalmente cubierta de cráteres, con algunas montañas y poquísimos mares, que en cambio son numerosos en el hemisferio visible. La razón hay que buscarla precisamente en este distinto espesor: a lo largo de la historia geológica, la lava presente en el manto sale con más facilidad a la superficie en las zonas de corteza delgada, formando los mencionados mares.



LOS MOVIMIENTOS DE LA LUNA

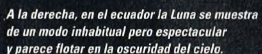
La Luna da una vuelta completa alrededor de la Tierra en 27,3 días respecto a un sistema de referencia fijo como el de las estrellas. Respecto a un sistema móvil como el de la Tierra, en cambio, el período de revolución es de 29,5 días, que corresponde al intervalo entre dos fases iguales; se trata en realidad de un intervalo medio, pues la influencia gravitacional del Sol modifica cada mes este valor. La órbita lunar es elíptica y se describe en torno al baricentro del sistema Tierra-Luna, que está en el interior de la Tierra a unos 4.600 km del centro de nuestro planeta. Debido a la extrema proximidad entre ambos cuerpos, la atracción gravitacional terrestre obliga a la Luna a girar sobre su propio eje en 27,3 días, el mismo tiempo que emplea en completar una revolución en torno a la Tierra. Por ello, nuestro satélite muestra siempre la misma cara. En la práctica, sin embargo, desde la superficie terrestre es posible observar algo más de media Luna. La órbita lunar está inclinada unos 5° respecto a la eclíptica y el eje lunar está inclinado 1,5° respecto a su órbita. Por ello, es posible ver hasta 6,5° por encima o por debajo de los polos lunares. El fenómeno se llama libración de latitud. La Luna también libra en longitud, porque la velocidad con que se mueve a lo largo de su órbita varía según se acerque o se aleje de la Tierra, mientras que la inclinación de su eje permanece constante. En su movimiento alrededor de la Tierra, por lo tanto, la Luna parece oscilar de este a oeste hasta 7° en cada dirección. En total, se puede ver el 59% de la superficie lunar.



La órbita de la Tierra alrededor del Sol y la de la Luna alrededor de la Tierra no están en el mismo plano sino que ambas están inclinadas 5° una con respecto a la otra.



A la izquierda, esta imagen fotográfica muestra la Luna tal como se ve desde la Tierra 11 días antes de la luna nueva.

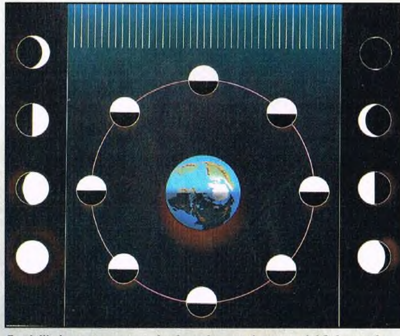


A la derecha, en el ecuador la Luna se muestra de un modo inhabitual pero espectacular y parece flotar en la oscuridad del cielo.



LAS FASES LUNARES

Observando la Luna en noches sucesivas es posible advertir que en la primera mitad del mes aparece como una pequeña hoz que va creciendo día a día hasta que toda la cara orientada hacia la Tierra resulta completamente visible. En la segunda mitad del mes, en cambio, la parte iluminada se reduce hasta que una noche desaparece completamente. El fenómeno toma el nombre de ciclo de las fases lunares. La razón de este fenómeno ya fue comprendida por Anaxágoras (499-428 a.C.), quien lo explicó como el comportamiento de un cuerpo iluminado desigualmente por el Sol. Si consideramos el sistema Tierra-Luna, podemos suponer que los rayos solares, dada la enorme distancia de la estrella, llegan paralelos. Cuando la Luna está entre nosotros y el Sol, resulta invisible porque la cara que refleja la luz solar es la opuesta a la Tierra; al moverse alrededor de nosotros, nuestro satélite empieza a reflejar la luz hacia la Tierra y se ve como una fina hoz que aumenta de tamaño hasta el cuarto creciente (cuando forma con el Sol un ángulo de 90°). En tal situación está iluminada media cara. Más tarde, llega la fase de luna llena, que corresponde al momento de oposición al Sol (cuando toda la cara refleja la luz hacia la Tierra). Finalmente la parte iluminada va decreciendo hasta su desaparición total al término del mes sinódico.



En el dibujo, que representa las fases lunares, los rayos del Sol proceden de arriba. En los márgenes, se reproducen las fases vistas desde la Tierra.

ECLIPSES

Los eclipses, solares o lunares, sólo pueden producirse, respectivamente, durante la luna nueva y la luna llena. Debido a que la órbita de la Luna forma un ángulo de 5° con la de la Tierra, los eclipses no se producen todos los meses, sino sólo cuando la Luna corta el plano de la órbita terrestre y se encuentra alineada con la Tierra y el Sol.
– Eclipses solares: la Luna se encuentra entre el Sol y la Tierra, y proyecta su sombra sobre puntos de la superficie terrestre, desde los cuales es imposible ver el Sol. Los eclipses de Sol pueden ser parciales, totales o anulares. Durante los eclipses parciales, la sombra de la Luna oculta sólo en parte el disco solar y el observador se encuentra en la zona de penumbra de la Luna. En los eclipses totales el disco solar está completamente cubierto y el Sol deja de ser visible. La sombra lunar se extiende por la superficie terrestre con una anchura máxima de 200 km, que representa la zona desde la cual es visible el eclipse.
La duración máxima de los eclipses de Sol es de 8 minutos, período durante el cual el cielo se ennegrece y se ven las estrellas. Los eclipses anulares se producen cuando la sombra de la Luna no cubre totalmente el Sol sino que deja visible una parte externa en forma de anillo.
– Eclipses lunares (fotos a la derecha): la Tierra, que se encuentra entre el Sol y la Luna, proyecta su sombra sobre nuestro satélite, que resulta así oscurecido; el eclipse es total cuando la Luna se encuentra inmersa en el cono de sombra de la Tierra. Estos eclipses duran máximo 3,5 horas y son visibles desde todo el hemisferio no iluminado por el Sol donde la Luna se encuentre sobre el horizonte.





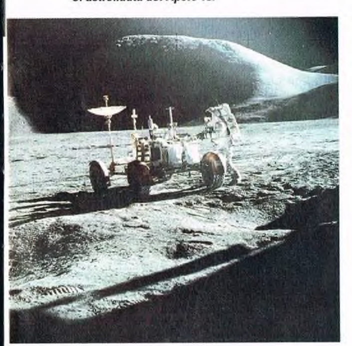
LA EXPLORACIÓN LUNAR

La aventura espacial del hombre coincidió con los comienzos de la historia de la exploración de la Luna, la cual, dada la proximidad, constituía la meta más abordable.

La guerra fría contribuyó a acelerar los esfuerzos de las dos superpotencias con vistas a llegar las primeras a la superficie lunar. Después de algunos intentos fallidos, la Unión Soviética realizó muchas sondas de la serie Lunik, que sobrevolaron y fotografiaron el suelo antes de alunizar (a partir del Lunik 15), para recoger rocas lunares y traerlas a la Tierra. En otras dos misiones (Lunik 20 y 21) las naves contenían un vehículo automático manejado desde la Tierra gracias a dos telecámaras situadas frontalmente. Pese a todos estos resultados y esfuerzos, fueron los estadounidenses, en 1969, los primeros en poner a dos astronautas sobre el suelo lunar. Los éxitos soviéticos alentaron a Estados Unidos a poner en marcha el programa de exploración orbital automática Ranger, al que siguieron el proyecto de un módulo automático Surveyor y finalmente el proyecto Apolo, que preveía el alunizaje. La larga preparación para el desembarco concluyó con el vuelo de las cápsulas tripuladas Gemini, que sobrevolaron la superficie lunar estudiando los mejores lugares para el alunizaje.

El 16 de julio de 1969, la cápsula Apolo 11 alzaba el vuelo, transportada por el lanzador Saturno, con destino a la Luna. Cuatro días después, Armstrong y Aldrin alunizaban con el LEM (que se había desprendido de la cápsula madre, en órbita) en el mar de la Tranquilidad y pisaban el suelo lunar.

Abajo, la luz rasante del Sol ilumina el perfil de un cráter que parece avanzar hacia el astronauta del Apolo 15.



LA BAJA GRAVEDAD

Al contemplar los desembarcos en la Luna se advierte que los movimientos de los astronautas son distintos de los que solemos hacer en la Tierra. Por una parte, parecen torpes y lentos; por otra, permiten unos saltos fenomenales que nos maravillan. La gravedad notablemente inferior de nuestro satélite permite saltos de cuatro y cinco metros. El fenómeno se debe a nuestra estructura muscular, acostumbrada a una fuerza gravitatoria mucho mayor. Cuando nos encontramos en las condiciones lunares, nuestros músculos deben mover la misma masa, pero con un peso netamente inferior.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

LA OBSERVACIÓN DE LA LUNA

Al ser el cuerpo celeste más próximo a nosotros y también el más fácilmente observable, la Luna ha merecido la atención de estudiosos y de gente corriente, fascinada por su luminosidad y por su constante presencia de noche.

A SIMPLE VISTA

La Luna dista 384.000 km de la Tierra y es el cuerpo celeste de mayor tamaño que se puede ver en nuestro cielo. Observada a simple vista, muestra unas zonas más oscuras, los mares, que en la cara visible del satélite ocupan una parte importante de todo el hemisferio. Obviamente, durante el mes es posible observar las distintas fases lunares hasta la luna llena.

CON UNOS PRISMÁTICOS

Con unos prismáticos se ven muchos detalles; para obtener una imagen estable se aconseja montar los prismáticos sobre un trípode de los que se utilizan para las máquinas fotográficas. Pueden verse los mares con contornos nítidos y los cráteres, así como llegar a trazar un mapa del hemisferio visible.

CON UN TELESCOPIO

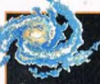
Con un buen telescopio de aficionado se puede estudiar la morfología lunar en todos sus aspectos: llanuras, montañas y, sobre todo, cráteres. Estos últimos quedan perfectamente recortados en el centro del ocular del telescopio; con un mapa de la Luna se pueden identificar muchísimos cráteres con gran detalle.

FAMILIAS ESTELARES

Nuestro Sol es una estrella aislada y en esto constituye una excepción. La mayoría de estrellas prefieren rodearse de compañeras.

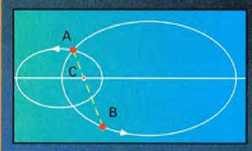


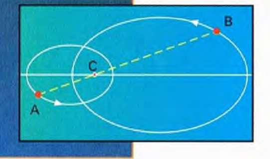
Las estrellas no están distribuidas de un modo uniforme por el universo y difícilmente se encuentran solas. Tienden más bien a agruparse en familias más o menos numerosas y aglomeradas. Se pasa así del simple sistema de dos estrellas (las estrellas dobles o sistemas binarios) a las asociaciones, los cúmulos y las galaxias. Nuestro Sol, que es una estrella sola, constituye casi una excepción. Se cree, en efecto, que la mayor parte de las estrellas, de nuestra Galaxia o de otras, pertenecen a sistemas dobles o múltiples.



FAMILIAS DE ESTRELLAS

En los sistemas dobles, dos estrellas orbitan la una alrededor de la otra o, dicho con mayor precisión, orbitan alrededor de un punto ideal llamado centro de masas del sistema. La estrella que realiza un movimiento menos amplio es la más masiva, mientras que la más ligera es la que describe la órbita mayor. Estudiando las trayectorias de las estrellas y utilizando las leyes de la gravitación universal y de Kepler siempre es posible calcular la masa total del sistema. A veces es posible también calcular las masas de ambas estrellas separadamente.





Las dos estrellas A y B y el centro de masas C del sistema están siempre alineados. Cada una de las estrellas está situada a una distancia de C inversamente proporcional a la propia masa; la estrella más masiva (A) siempre está más cerca que la otra del centro de masas.



En la imagen superior se representa una típica galaxia espiral, como podría ser nuestra Vía Láctea. En una galaxia de este tipo los cúmulos de estrellas ocupan posiciones características. Las asociaciones y los cúmulos abiertos se encuentran en el disco de la galaxia, sobre todo en las regiones de los brazos espirales. Los cúmulos globulares, en cambio, están distribuidos uniformemente en torno al centro de la galaxia formando un halo esférico.

LAS ESTRELLAS DOBLES Y MÚLTIPLES

Las familias menos numerosas del universo son las compuestas por dos estrellas que orbitan la una alrededor de la otra. Los astrónomos determinan si dos estrellas forman un sistema físicamente ligado observando la posición de los dos astros en el cielo y, sobre todo, midiendo la distancia que nos separa de ellas y estudiando los movimientos recíprocos. Si las dos estrellas están a la misma distancia de nosotros y parecen «danzar» en torno a un centro invisible, entonces es muy posible que formen un sistema doble y que no se trate de un acercamiento debido a la perspectiva. Los sistemas dobles son importantes porque al estudiarlos es posible determinar la masa de las estrellas componentes; la medida directa de esta magnitud sólo es posible en los sistemas dobles.

Hay también sistemas compuestos por tres, cuatro o más estrellas, hasta diez o doce componentes. Entre los más famosos cabe citar Gamma *Andromedae*, que es un sistema cuádruple, Epsilon *Lyrae*, que es quíntuple, y Alfa *Geminorum*, que es séxtuple.

LAS ASOCIACIONES ESTELARES

Al observar regiones de formación estelar, se ven grupos de estrellas con características similares, nacidas en la misma nube de gas. Se trata a menudo de astros muy masivos y luminosos que pertenecen a los primeros tipos espectrales O y B en la clasificación de las estrellas basada en la temperatura (se trata por tanto de las estrellas más

calientes). Se habla, por ello, de asociación OB. Si las estrellas, en cambio, son estrellas rojas, similares a la estrella variable T de la constelación de Tauro, se habla de asociación «T». Son estrellas muy jóvenes, en una fase todavía inestable de su existencia, dentro de las cuales no se han desencadenado las reacciones nucleares que las estabilizarán por largo tiempo.

Las asociaciones constan generalmente de decenas o cientos de estrellas. Estos sistemas, al ser poco masivos, están demasiado poco ligados para ser estables, por lo que tienden a disgregarse, en 10 o 20 millones de años, a causa de los movimientos casuales de las estrellas que los componen.

LOS CÚMULOS ABIERTOS

El nivel siguiente en la escala de familias de estrellas es el de los cúmulos abiertos o cúmulos galácticos. En este tipo de cúmulos hay entre decenas y millares de estrellas. Dichos cúmulos, como por ejemplo los de las Pléyades y las Híades, en la constelación de Tauro, y el doble cúmulo h y χ (ji) Persei, se encuentran casi siempre sobre el disco de la Galaxia, sobre todo cerca de los brazos espirales, y están compuestos por estrellas relativamente jóvenes, con edades comprendidas entre cientos y millones de años. Su forma no es muy precisa: algunos son más densos, con una simetría casi esférica, y otros muestran pocas estrellas irregularmente dispersas en una cierta región del cielo. Los cúmulos abiertos tienen un diámetro medio de unos 50 años luz y están destinados a disgregarse, como las asociaciones.

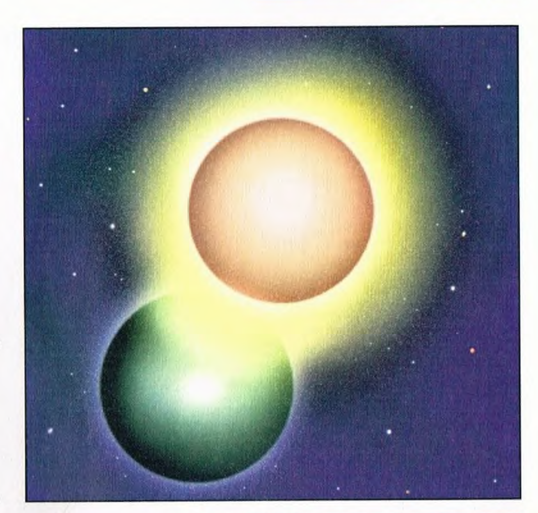
Muchos cúmulos abiertos, como los ya citados y M44 y M67 de Cáncer, son objetos fácilmente visibles con prismáticos o pequeños telescopios de aficionado.

LOS CÚMULOS GLOBULARES

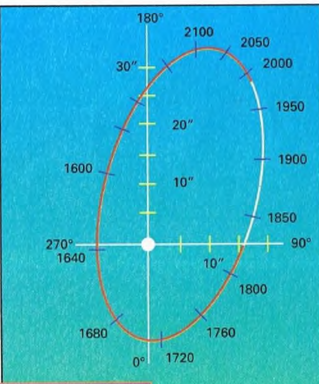
Los cúmulos globulares son espectaculares y densas aglomeraciones de estrellas. Tienen una forma casi esférica, por eso se denominan globulares, y constan de cientos de miles de estrellas. Su diámetro es de unos 100 años luz. Las regiones centrales de estos cúmulos son tan densas que ni siquiera los mayores telescopios consiguen resolverlas en estrellas individuales: sólo consiguen mostrar una esfera uniforme de luz. Los cúmulos globulares se distribuyen uniformemente alrededor de la Galaxia formando un halo prácticamente esférico; en la Vía Láctea hay unos 200, que se mueven como satélites, orbitando en torno al centro galáctico. Son tan densos que pueden atravesar el plano galáctico sin sufrir daños y no están sujetos a disgregación con el tiempo. Este tipo de cúmulos están formados por estrellas muy viejas, generalmente con edades de miles de millones de años, y por este motivo pueden brindar preciosas informaciones sobre las primeras fases de la vida en nuestra Galaxia.

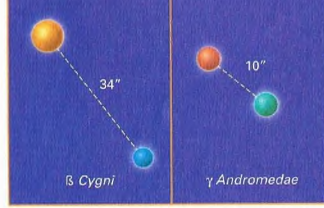
Se han visto también cúmulos globulares en muchísimas galaxias exteriores a la nuestra (por ejemplo, en M87, de la constelación de Virgo) y sobre todo alrededor de galaxias elípticas; son menos numerosos alrededor de galaxias espirales.

Los cúmulos globulares más espectaculares de nuestra Galaxia son M13 en Hércules, Omega *Centauri* y 47 *Tucanae*, visibles en el hemisferio sur.



Arriba, Alcor y Mizar, en la constelación de la Osa Mayor, constituyen uno de los ejemplos más famosos de sistema doble aparente. Abajo, las dos estrellas dobles más bellas del cielo. Se indica la separación de las componentes del sistema (en segundos de arco). La búsqueda y la observación de estrellas dobles es uno de los pasatiempos favoritos de los astrónomos aficionados. En muchos casos, la proximidad de los distintos colores de las componentes crea un espectáculo fascinante.





Arriba, órbita de la estrella doble 61 Cygni tal como aparece desde la Tierra. El período de revolución de una estrella alrededor de la otra es de unos 650 años. Ambas estrellas son de baja temperatura (tipo espectral K) y su masa y diámetro son iguales a la mitad de los del Sol.

LAS GALAXIAS

Las estrellas se reúnen luego en grupos de cientos de miles de millones para formar las galaxias. Nuestro Sol no constituye una excepción, pues se encuentra, con todo el sistema solar, dentro de la Vía Láctea. Observando el cielo con los más potentes telescopios se advierte que hay miles de millones de galaxias distribuidas por el universo en cualquier dirección del firmamento. Incluso a gran escala, pues, el universo no está poblado uniformemente de estrellas: alternan grandes aglomeraciones, las galaxias, con inmensos vacíos.

Las formas más comunes entre las galaxias son las espirales, como la nuestra, M31, M51 o M101, y las elípticas, como M87 o M32; hay, sin embargo, una pequeña minoría de galaxias en las que las estrellas no se distribuyen según un esquema regular sino que parecen dispersas sin ningún orden, como en el caso de la vecina Nube de Magallanes, visible en el hemisferio sur.

A causa de su baja luminosidad superficial, ni siquiera las galaxias más brillantes son fáciles de observar. Es necesario un telescopio de al menos 20 cm y sobre todo un cielo muy oscuro, alejado de las fuentes de contaminación luminosa.

CÚMULOS DE GALAXIAS

En esta especie de hermanamiento cósmico, también las galaxias tienden a no permanecer solas sino a reunirse en grupos de varias decenas, formando los llamados grupos de galaxias. Nuestra Galaxia, la Vía Láctea, forma parte de un grupo llamado Grupo Local, que comprende una treintena de galaxias, entre las cuales se encuentra la famosa galaxia de Andrómeda. A unos 6-8 millones de años luz de nosotros se encuentra el grupo de galaxias del Escultor

UNA CÉLEBRE PAREJA

El sistema doble formado por Mizar y Alcor, en la cola de la Osa Mayor, es tal vez el más famoso de todo el cielo boreal. Las dos estrellas tienen el mismo movimiento en el espacio, pero no es del todo cierto que estén físicamente ligadas la una a la otra. Mizar es, en realidad, una estrella doble muy bella y fácil de observar con un pequeño anteojo; las dos componentes son de magnitud 2,4 y 4, y su separación es de 14 segundos. También Alcor es doble, pero las dos componentes están tan próximas que la presencia de la compañera más débil puede observarse sólo con análisis espectroscópicos.

Alcor





Arriba, M87, una gran galaxia elíptica de la constelación de Virgo. Se encuentra en el centro del cúmulo que toma el nombre de esta constelación y que posee un diámetro de unos 10 millones de años luz.

A la izquierda, los telescopios más modernos muestran, en cada dirección del cielo, determinadas cantidades de galaxias agrupadas en cúmulos. En la foto, una nebulosa de reflexión alrededor de estrellas del cúmulo de las Pléyades.

y el de M81; a unos 15-20 millones de años luz está el grupo de M101, una gran galaxia espiral de la constelación de la Osa Mayor.

Los grupos formados por cientos de galaxias reciben el nombre de cúmulos. El más próximo es el cúmulo de Virgo, que dista entre 40 y 60 millones de años luz de nosotros, comprende unas 2.500 galaxias y está centrado en la famosa M87. Otros cúmulos, más lejanos, son los que se ven en dirección de la constelación de Perseo (unas 500 galaxias a 200 millones de años luz), de Centauro (unas 300 galaxias a 200 millones de años luz), de la Cabellera de Berenice (casi 1.000 galaxias a 350 millones de años luz) y así sucesivamente.

Por último, es preciso añadir que también los cúmulos parecen mostrar una tendencia a aglomerarse en supercúmulos, unas estructuras inmensas que llegan hasta los límites del universo observable. Sólo las observaciones con los telescopios más modernos y potentes podrán decirnos cómo las galaxias están distribuidas por la inmensidad del espacio y si las familias de estrellas son realmente una característica fundamental del universo a distancias más grandes todavía.





Arriba a la derecha, esta galaxia espiral tiene una forma similar a la de nuestra Vía Láctea. Paradójicamente, conocemos mejor la forma de las galaxias exteriores, lejanísimas, que la de la nuestra, en la cual estamos inmersos. Deberíamos poder salir de ella para verla en toda su amplitud, pero tal cosa es impensable debido a las inmensas distancias que habría que recorrer.

A la derecha, NGC 253, en la constelación del Escultor.

LA CRUZ DEL SUR



Las cuatro estrellas más brillantes de la Cruz del Sur forman una figura fácil de reconocer en los cielos australes. Antiguamente, esta constelación formaba parte de Centauro.

La Cruz del Sur es una pequeña pero brillante constelación del hemisferio austral de la bóveda celeste. Indica el polo Sur celeste.



La constelación de la Cruz del Sur es la más famosa de todo el hemisferio meridional. La Cruz del Sur aparece incluso en las banderas de algunos estados de Oceanía, como Australia y Nueva Zelanda.

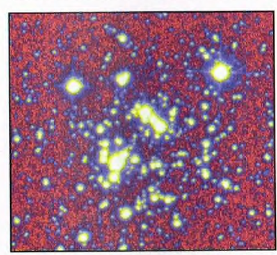
CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

La Cruz del Sur se encuentra cerca de la constelación de Centauro, de la cual formó parte hasta fines del siglo XVI. La recta que une Alfa y Gamma *Centauri* indica la Cruz.

A diferencia del hemisferio norte, donde la estrella polar indica con cierta precisión la posición del polo Norte celeste, en el hemisferio austral falta una referencia similar. No obstante, uniendo las estrellas Alfa y Gamma de la Cruz se obtiene aproximadamente la dirección donde se encuentra el polo Sur celeste.

ESTRELLAS PRINCIPALES

La constelación de la Cruz del Sur ocupa una porción de cielo de sólo 70º cuadrados. Aunque está cerca de la Vía Láctea, contiene pocas estrellas. La más brillante es Acrux (Alfa *Crucis*, magnitud 0,9). Al observarla con unos prismáticos, se advierte la presencia de una compañera de magnitud 4,9, pero un telescopio revela que la componente más luminosa está formada por dos estrellas blancoazuladas de magnitudes respectivas 1,4 y 1,9.



Arriba, imagen en falsos colores del cúmulo abierto NGC 4755, llamado Joyero por la belleza de las estrellas que lo componen.

Gamma es otra estrella doble, con componentes de magnitud 1,6 y 6,7. Para separar este par de estrellas es suficiente un pequeño instrumento, como unos prismáticos o un telescopio de apertura no excesiva.

OBJETOS DE LA CRUZ DEL SUR

La ubicación de la Cruz del Sur en la Vía Láctea hace que la constelación, pese a su pequeño tamaño, contenga dos objetos dignos de mención.

En una noche sin Luna, observando desde lugares alejados de la perturbación luminosa de las ciudades, se puede ver, cerca de la Cruz, una zona oscura de la Vía Láctea: es el Saco de Carbón, una vasta nube que se interpone entre nosotros y las estrellas de la Vía Láctea. Como otros objetos del mismo género, el Saco de Carbón está formado por gas y polvo que llevarán a la formación de estrellas. Observaciones basadas en técnicas sofisticadas han puesto de manifiesto que en las zonas más densas de esta nube están en curso procesos de esta índole.

El segundo objeto interesante es el cúmulo abierto llamado El Joyero, NGC 4755. Es posible entreverlo a simple vista como una estrella de quinta magnitud, pero un pequeño telescopio permite discernir en él decenas de estrellas de diferentes colores. El nombre se lo dio el astrónomo inglés John Herschel (1792-1871), quien comparó las estrellas que lo componen a las joyas de una dama y lo bautizó así para subrayar su belleza. El cúmulo se conoce también con el nombre de Kappa *Crucis*, debido a la presencia de esta estrella, perceptible a simple vista, en sus proximidades.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

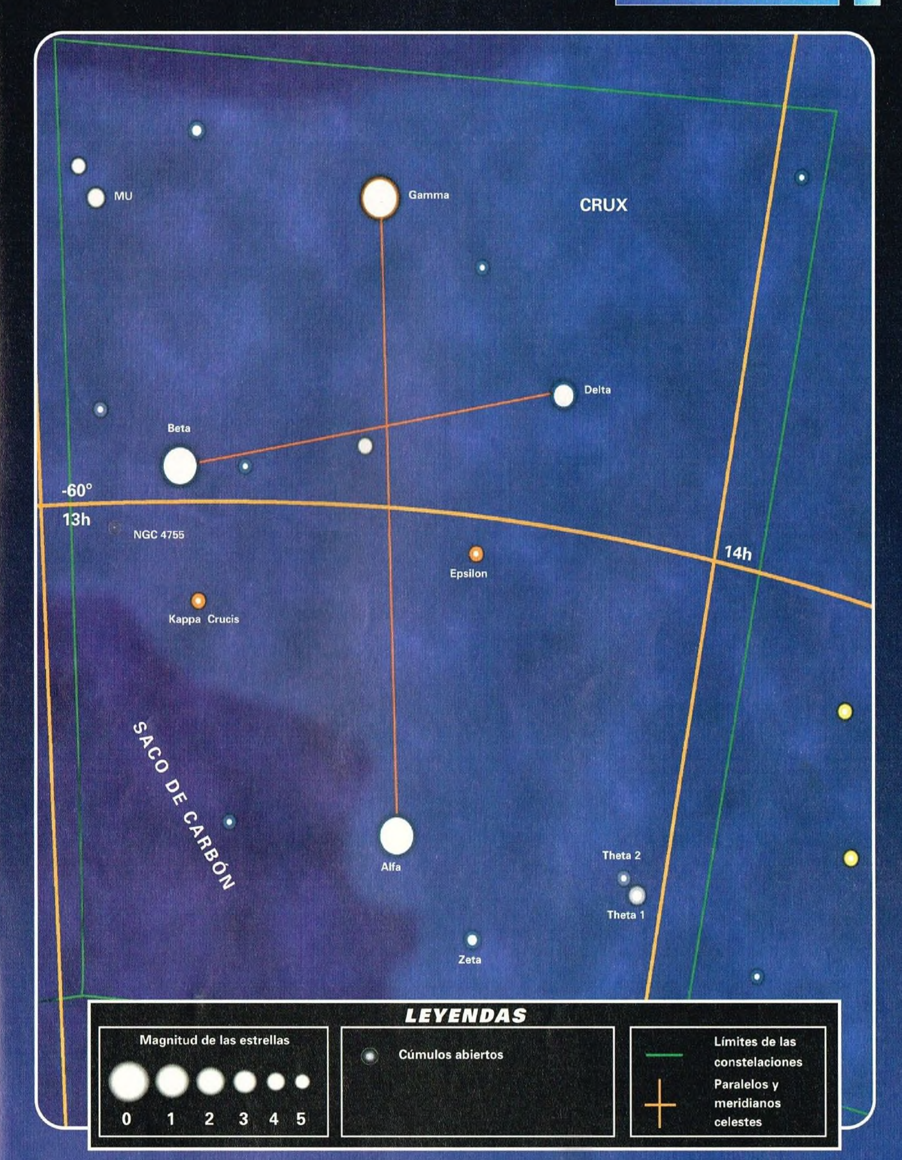
LAS CONSTELACIONES DEL HEMISFERIO AUSTRAL

La Cruz del Sur, que era una figura ya observada en la Antigüedad, siempre había formado parte de la vecina constelación del Centauro; sólo a raíz de los primeros largos viajes por mar se decidió convertirla en una constelación aparte. No se sabe si esta constelación fue introducida por el navegante Royer o por el abad de Lacaille, creador de bastantes constelaciones del cielo austral. Probablemente, el nacimiento de la Cruz del Sur se deba a que dicha constelación indica el Sur celeste, carente de estrellas luminosas en sus proximidades. El papel desempeñado por los cuatro astros principales se vuelve esencial para la navegación, porque en el hemisferio sur la estrella polar no es visible y es imposible encontrar el norte.

DÓNDE BUSCARLA

LA CRUZ DEL SUR

La Cruz del Sur abarca una región del cielo comprendida entre 64° S y 55° S de declinación, y entre 11 horas 55 minutos y 12 horas 55 minutos de ascensión recta. Es íntegramente visible todo el año desde latitudes al sur de 35° S y parte del año desde las regiones situadas entre 35° S y 26° N. Por encima de 26° N nunca es íntegramente visible. No es posible verla desde latitudes como la de España. Para ello hay que trasladarse a lugares situados más al sur. El mejor mes para observar la constelación es marzo.


MU
Gamma
CRUX
Delta
Beta
-60°
13h
NGC 4755
Epsilon
14h
Kappa Crucis
SACO DE CARBÓN
Alfa
Theta 2
Theta 1
Zeta
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos abiertos
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

ONDAS DE RADIO

SEÑALES CON MENSAJE

Las ondas de radio llevan la música y las transmisiones televisivas a nuestros hogares, pero también permiten la transmisión a la Tierra de espectaculares imágenes procedentes del espacio.



El dibujo muestra cómo el reflector parabólico capta las señales de radio y las enfoca sobre un sensor que las envía a un amplificador y a un ordenador. Éste convierte la intensidad de las ondas de radio en mapas de las radioemisiones del cielo. En la fotografía, el sonido de la voz de un* disc-jockey *se transforma en una onda de radio que, desde la estación de transmisión, viaja por el éter hasta el oído de un oyente.

Las primeras instalaciones de radio se llamaban de telegrafía sin hilos porque podían recibir señales desde las estaciones transmisoras sin ningún cable conector. Las señales viajaban por el éter por medio de las ondas de radio, las radiaciones de mayor longitud de onda del espectro electromagnético.

Para comprender la naturaleza de las ondas de radio debemos entender el significado del término «frecuencia». Si observáramos desde una barca inmóvil las olas que se mueven por la superficie del mar, podríamos considerar como frecuencia el número de olas que pasan por segundo. Análogamente, la frecuencia de una onda de radio es el número de impulsos que pasan por segundo. El uso principal de estas ondas es la transmisión de imágenes y sonidos; nuestros aparatos de radio y televisión deben sintonizarse a la frecuencia correcta, llamada también canal, para conseguir captar la señal transmitida.

LOCALIZAR UNA RADIOFUENTE

Un radiotelescopio es una antena de radio direccional que recibe el mismo tipo de señales que una radio normal; la diferencia reside en la fuente emisora, que se encuentra situada en el espacio.

El descubrimiento de ondas de radio procedentes del espacio fue casual. A comienzos de los años treinta, Karl Jansky,

un técnico radiofónico de la US Bell Telephone Company (la compañía estadounidense de teléfonos), estaba investigando las descargas estáticas que perturbaban los mensajes de radio trasatlánticos. Jansky se dio cuenta de que estas perturbaciones se debían a ondas de radio procedentes del espacio y que la fuente debía encontrarse en el centro de nuestra Galaxia.

El descubrimiento llevó a la construcción, en 1937, de la primera gran antena parabólica dirigida hacia el espacio. Grote Reber, el astrónomo aficionado estadounidense que había construido aquel disco de 9 m de diámetro, empezó luego a utilizar su instrumento para elaborar un mapa de las emisiones de radio procedentes de la Galaxia.

LOS RADIOTELESCOPIOS

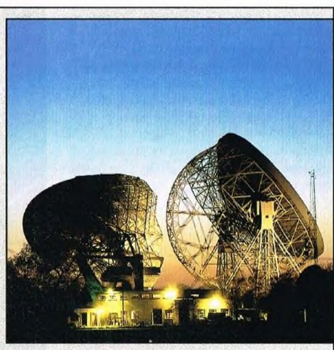
Los radiotelescopios, nombre bajo el cual se conocen hoy estos aparatos, han recorrido un largo camino evolutivo. La construcción general, formada por un disco parabólico capaz de reflejar las ondas de radio sobre una antena situada en el centro, ha permanecido sustancialmente inalterada, pero el tamaño ha aumentado con el transcurso del tiempo, dado que las ondas de radio están caracterizadas por un amplísimo intervalo, con longitudes de onda comprendidas entre 10 mm y varios kilómetros. De ahí que los radiotelescopios deban ser mucho mayores que los telescopios ópticos normales para conseguir obtener la misma calidad de las señales captadas.

Algunos de los radiotelescopios más famosos tienen una antena de disco, como por ejemplo el Lovell Telescope (Gran Bretaña), que presenta un diámetro de 76 m; otros, en cambio, consisten en una serie de antenas similares a las que habitualmente se utilizan para recibir las transmisiones de

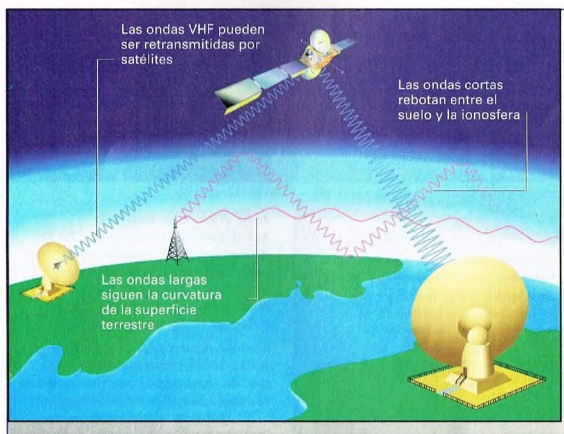
DATOS

PRINCIPALES HITOS EN LA RADIOASTRONOMÍA

1895 Primera transmisión de radio de la historia efectuada por Guglielmo Marconi.
1901 Primera transmisión de radio a larga distancia.
1931 Jansky descubre las ondas de radio procedentes del espacio.
1937 Reber construye el primer radiotelescopio.
1957 Se construye el radiotelescopio Lovell en Jodrell Bank.
1963 Descubrimiento de los cuásares.
1967 Descubrimiento de los púlsares.



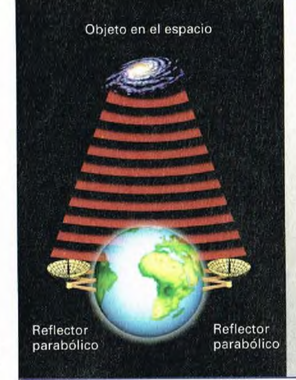
Arriba, el radiotelescopio Lovell (a la derecha de la foto) en Jodrell Bank (Gran Bretaña).



¿QUÉ ES LA FRECUENCIA?

La frecuencia de una onda de radio corresponde al número de picos por unidad de tiempo y es inversamente proporcional a su longitud de onda (la distancia entre dos picos de la onda); cuanto mayor sea esta última, menor es la frecuencia. Cuando sintonizamos una emisora de radio no hacemos otra cosa que seleccionar una determinada frecuencia. Para transmitir señales de radio a largas distancias podemos emplear ondas largas, medias o cortas. Cada tipo de señal viaja de modo distinto. Las ondas largas se propagan por la atmósfera siguiendo la curvatura de la Tierra como las ondas de superficie; las ondas cortas llegan a su destino rebotando entre la ionosfera y el suelo. Las ondas de radio VHF (Very High Frequency), de longitud de onda bastante menor, que se utilizan para las transmisiones locales, pueden atravesar la ionosfera. Se utilizan para las comunicaciones vía satélite.

televisión. Uno de los radiotelescopios más insólitos se encuentra en el observatorio Zelenchukskaia, en Rusia; se trata del Ratan 600, que consiste en una pared curva formada por cientos de paneles reflectores de aluminio que confieren al telescopio un diámetro de 576 m. El radiotelescopio no orientable de Arecibo, en Puerto Rico, aprovecha un cráter natural de 305 m de diámetro. Pero ni siquiera con estos tamaños los radiotelescopios pueden igualar la resolución de los telescopios ópticos. El problema se ha solventado asociando electrónicamente los datos recogidos por muchos radiotelescopios para crear artificialmente el efecto de un inmenso reflector parabólico de cientos o miles de kilómetros de anchura. Esta rama de la astronomía se conoce como interferometría. La resolución de los objetos observados en el espacio que con ella se obtiene es mejor que la de los telescopios ópticos.



INTERFEROMETRÍA

En el observatorio de Jodrell Bank (Inglaterra) se encuentra el radiotelescopio parabólico de 76 m Mark IA, construido por Bernard Lovell en 1957. Recientemente se le ha adjuntado un radiotelescopio mayor y más potente llamado MERLIN (Multi-element Telescope Radio-linked Interferometer), el cual, a diferencia del Mark IA, no es visible. Este instrumento está formado por seis radiotelescopios conectados electrónicamente que crean un único reflector parabólico de 133 km de diámetro. A través de este sistema, el MERLIN suministra las imágenes más nítidas al alcance de un radiotelescopio.

Con la interferometría se podría crear un radiotelescopio dotado de un reflector grande como la Tierra que podría suministrar datos muy precisos.

CADA VEZ MÁS LEJOS

La radioastronomía se beneficia del hecho de que la atmósfera terrestre sea transparente a las ondas de radio de longitud comprendida entre 2 cm y 30 m, lo que permite efectuar eficaces observaciones desde el nivel del suelo. Además, a diferencia de los telescopios ópticos normales, los reflectores parabólicos y las antenas de radio funcionan bien con todo tipo de climas.

Entre las radiofuentes relativamente próximas observadas en las primeras etapas de la radioastronomía se encuentran el Sol y Júpiter, aunque algunos de los objetos más extraños conocidos por los radioastrónomos se hallan a distancias muy superiores.

HOMBRECILLOS VERDES

En los años sesenta, la radioastronomía permitió dos importantes descubrimientos. En 1967, en el Mullard Radio Astronomy Laboratory de Cambridge, Jocelyn Bell detectó una transmisión de radio procedente del espacio que «repiqueteaba» con la regularidad de un reloj. Dado que en aquel tiempo no se conocía nada que pudiera explicar semejantes observaciones, las señales fueron llamadas LGM, acrónimo de Little Green Men (hombrecillos verdes).

A finales del mismo año, el cosmólogo británico Thomas Gold explicó aquellas señales como emisiones de radio de un púlsar, una estrella de neutrones que gira sobre sí misma muy rápidamente y que podría ser el producto de la explosión de una supernova. Desde entonces se han observado otros muchos púlsares.

GALAXIAS ENERGÉTICAS

Durante aquel mismo decenio, se descubrió gracias a la radioastronomía un nuevo tipo de objeto denominado cuásar. Actualmente se cree que los cuásares son núcleos de galaxias remotas que emiten una cantidad de energía excepcionalmente elevada.

Todas las galaxias emiten radiaciones, pero algunas, llamadas activas, poseen en sus núcleos unas fuentes de enorme energía, las más potentes de las cuales son los cuásares. Muchas galaxias activas, aunque no todas, son intensas radiofuentes y se llaman por este motivo radiogalaxias.

Superponiendo un mapa de radio de una galaxia a una fotografía óptica del mismo



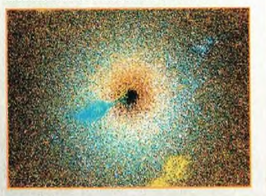
Arriba, el Very Large Array (VLA) de Nuevo México (Estados Unidos). Los 27 radiotelescopios del interferómetro van sobre vías en forma de Y y pueden desplazarse para optimizar la recepción. Cada reflector parabólico tiene un diámetro de 25 m; el diámetro total supera los 25 kilómetros.

¿RADIOTELESCOPIOS O TELESCOPIOS ÓPTICOS?



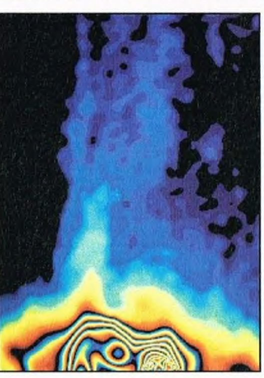
Arriba, imagen por radio de la galaxia M87, del cúmulo de Virgo, tomada por el radiotelescopio VLA. Las zonas azules indican las emisiones de radio más débiles, mientras que las blancas indican las más intensas. Se trata de una galaxia activa, que emite altos niveles de radiación.

Abajo, fotografía óptica de la galaxia M87, reelaborada electrónicamente, que muestra claramente un chorro emitido por su núcleo. Asociando imágenes ópticas con mapas de radio se pueden comprender los mecanismos de formación del chorro.



objeto se observan, en extremos opuestos de la galaxia, dos regiones de emisiones de radio producidas por el colapso de la materia en un agujero negro situado en el centro de la galaxia.

Las frecuencias utilizadas por los radioastrónomos son perturbadas cada día más por las transmisiones de radio que surcan el éter y se difunden a todos los puntos del globo. Una solución definitiva al problema podría ser la instalación de un radioobservatorio en la cara no visible de la Luna o en Marte.



A la derecha, un mapa de radio del centro de nuestra Galaxia en la región de Sagitario. Los anillos rojos y amarillos, elementos característicos de este tipo de mapas, indican el centro de las áreas de actividad. Las zonas azules son protuberancias de plasma emitidas por el centro de la Galaxia.

EXPERIMENTO

LA INFLUENCIA DE LOS METEOROS SOBRE LAS ONDAS DE RADIO

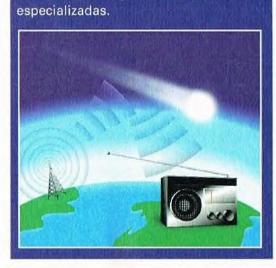
Las ondas de radio de frecuencia VHF tienen un alcance reducido, razón por la cual sólo suelen utilizarse para transmisiones locales. Al atravesar la atmósfera, los meteoros dejan una estela de moléculas ionizadas, que actúa como un espejo que refleja algunas ondas de radio VHF, por lo que las transmisiones de radio locales se reciben a distancias mayores de lo normal.

Podemos hacer un experimento muy simple sobre este fenómeno utilizando una radio, un conjunto de frecuencias de transmisión, un atlas y una brújula.

El primer paso consiste en consultar el atlas para encontrar una ciudad a 1.000-1.500 km de distancia; luego deberemos determinar la frecuencia de transmisión de su emisora local. El paso siguiente consiste en sintonizar nuestra radio con esta frecuencia y en levantarla a 5-6 m del suelo. Luego, deberemos inclinar la antena hacia lo alto con un ángulo de 4°-10° en la dirección de transmisión de la emisora de radio utilizando la brújula si no estamos seguros de la dirección.

El único sonido que conseguiremos oír será el ruido de la perturbación de fondo, pero durante un breve intervalo de tiempo podremos disfrutar de una buena recepción. Cuando esto sucede, significa que un meteoro ha atravesado la atmósfera terrestre.

El mejor período para intentar este tipo de experimento coincide con el momento en que se manifiestan las lluvias de meteoros, generalmente indicadas en las publicaciones especializadas.



EL AGUJERO DE LA CAPA DE OZONO



A la izquierda, concentraciones medias de ozono en la estratosfera, encima de la Antártida, entre 1979 y 1990. La zona situada en el interior del semicírculo más claro es la que presenta una menor concentración de ozono. Los datos han sido recogidos por el TOMS, a bordo del Nimbus 7 de la NASA, en órbita polar alrededor de la Tierra, que puede observar todo el planeta en 24 horas y una determinada zona siempre a la misma hora solar.

El ozono es un elemento básico de la atmósfera que nos protege de los rayos ultravioletas procedentes del espacio.



La luz del Sol es fundamental para la existencia en nuestro planeta. El calor solar, en efecto, permite mantener las condiciones de temperatura ideales para el desarrollo y la conservación de nuestro sistema biológico.

Sin embargo, no todos los tipos de radiaciones solares tienen efectos benéficos para las especies vivientes. Una exposición prolongada a los rayos ultravioletas (UV) puede ser dañina, por no decir letal, para el hombre. Los rayos UVB y UVC pueden interactuar a nivel molecular con los tejidos orgánicos irradiados y provocar patologías peligrosas, como el cáncer de piel. Según las últimas estadísticas, en Nueva Zelanda, donde la incidencia en el suelo de los rayos UVB es mayor, el 33% de la población está destinado a sufrir cáncer de piel en el curso de su vida, aunque no siempre de forma fatal.

Afortunadamente para nosotros, la Tierra está dotada de una defensa natural contra los rayos UV solares. La atmósfera terrestre, en efecto, es transparente a la radiación electromagnética de baja energía procedente del espacio, como la luz visible y las ondas de radio, pero opaca a la radiación más energética comprendida entre los rayos UVB y los rayos gamma, pasando por los rayos X. A partir de la radiación de tipo UVA, la mayor parte de la radiación electromagnética emitida por el Sol no llega a la superficie terrestre. La radiación de tipo UVC es totalmente absorbida por la atmósfera mientras que la radiación UVB, que representa menos del 1% de la cantidad total de radiación emitida por el Sol, consigue filtrarse parcialmente. En ambos casos, la función de escudo corre a cargo sobre todo del ozono, una molécula relativamente inestable formada por tres átomos de oxígeno (O_3).

La mayor parte del ozono está concentrada dentro de las capas más exteriores de la atmósfera, precisamente en la región, llamada estratosfera, situada a una altura de 20-30 km. El ozono se forma en la propia estratosfera, donde los átomos y las moléculas de gas sufren un continuo bombardeo por parte de las radiaciones ultravioletas del Sol.

En particular, cuando los rayos UV inciden sobre las moléculas de oxígeno diatómico (O_2) las



A la derecha, eco de una imagen obtenida con el satélite UARS, que suministra un mapa de la capa de ozono presente en la Antártida, una de las zonas constantemente vigiladas.



UN DRAMA ECOLÓGICO

Debido a la acción nociva que ejercen los agentes contaminantes introducidos por el hombre en la atmósfera, la capa de ozono se está reduciendo cada vez más. El efecto es más dramático en las regiones antárticas, donde los instrumentos han detectado la presencia de un auténtico agujero.

escinden en átomos de oxígeno libre. Cada átomo de oxígeno libre puede combinarse con una molécula de oxígeno (O_2) para formar una molécula de ozono (O_3). A su vez, la molécula de ozono, bajo la acción de los rayos UV, se escinde en una molécula de oxígeno diatómico y un átomo de oxígeno libre que vuelven a entrar en el ciclo para formar otras moléculas de ozono.

Sin embargo, el ozono absorbe los rayos UV en mayor cantidad que las moléculas normales de oxígeno y constituye por ello un escudo más eficaz. De este modo, sólo una mínima fracción de los rayos UVB emitidos por el Sol logran atravesar la capa de ozono y llegar a la superficie terrestre.

LOS DAÑOS CAUSADOS POR EL HOMBRE

Desgraciadamente, según los datos de la World Meteorological Organization, en los últimos 10 años se ha registrado una continua disminución de la capa de ozono, con un valor medio del 3% a escala mundial.

En algunas regiones terrestres se han registrado incluso picos que oscilan entre el 20 y el 50%. Como la disminución del nivel del ozono es progresiva, no puede deberse a fenómenos periódicos como, por ejemplo, el ciclo solar o las variaciones estacionales. El mismo razonamiento vale para fenómenos episódicos como las erupciones volcánicas, las cuales, al inyectar gases nocivos en la estratosfera, también desempeñan un importante papel en la erosión de la capa de ozono. En este sentido, la erupción del volcán Pinatubo, acaecida el 15 de junio de 1991 en Filipinas, constituyó un caso espectacular.

Los fenómenos observados son atribuibles en su mayor parte a la acción nociva de algunas sustancias conocidas como CloroFluoroCarburos (CFC), unas sustancias químicas artificiales compuestas de carbono, flúor y cloro, diariamente vertidas a la atmósfera desde comienzos de los años cuarenta. Estas sustancias no reaccionan fácilmente con las demás moléculas presentes en la atmósfera, razón por la cual tienen una vida más bien larga.

El dibujo inferior representa el adelgazamiento de la capa de ozono debido a la contaminación: las flechas rojas indican los rayos ultravioletas que llegan a la Tierra porque no han sido filtrados por el ozono protector.

Al difundirse por la estratosfera, los CFC pueden ser escindidos por radiaciones UV del Sol. En el proceso se liberan átomos de cloro, los cuales reaccionan con las moléculas de ozono robándoles un átomo de oxígeno para formar monóxido de cloro. Esta reacción, que provoca la destrucción de la molécula de ozono, procede según un ciclo continuo. Cuando la molécula de monóxido de cloro encuentra un átomo de oxígeno, se libera nuevamente un átomo de cloro que vuelve a entrar en el ciclo para reaccionar con otras moléculas de ozono. Así, un solo átomo de cloro puede provocar la destrucción de decenas de miles de moléculas de ozono.

La reiteración de estas reacciones provoca, por lo tanto, un adelgazamiento de la capa de ozono y una mayor transparencia de la atmósfera a los rayos UVB. Afortunadamente, los átomos de cloro no permanecen eternamente en la estratosfera sino que, al reaccionar con algunos tipos de gases, como el metano (CH_4), pueden volver al suelo arrastrados por las precipitaciones atmosféricas. Esto significa que si cesara el vertido de CFC, las condiciones que provocan la extinción del ozono desaparecerían en buena parte y la situación tendería a normalizarse en pocos decenios.

EL PRESENTE Y EL FUTURO

Según estimaciones de los expertos, deberían pasar unos 50 años antes de que el nivel de ozono atmosférico regresara a los valores estándar normales de principios de siglo.

De acuerdo con estudios efectuados sobre la distribución del ozono atmosférico, la disminución observada es mayor a mayores latitudes, cerca del 8% en vez del 3% que, como se ha indicado, es la media planetaria. En particular, se observó, en 1970, una caída drástica del nivel del ozono sobre la Antártida. La formación de este auténtico agujero en la capa de ozono se vería favorecida por las condiciones meteorológicas locales, que incrementan el potencial destructivo de los CFC. Se ha observado un agujero similar, recientemente, sobre regiones septentrionales de la Tierra, como el Ártico, Siberia y Escandinavia. Hay preocupantes indicios de que el fenómeno se está extendiendo rápidamente a latitudes intermedias.

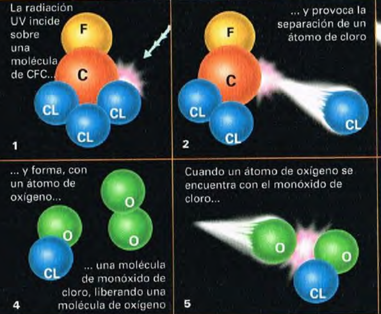
Gracias al incesante trabajo de persuasión de los científicos, el peligro que representa la reducción progresiva del ozono atmosférico es reconocido hoy por la mayor parte de los gobiernos mundiales. Para evitar consecuencias catastróficas, se ha reglamentado el vertido de CFC a la atmósfera terrestre mediante tratados internacionales, el más importante de los cuales, conocido como protocolo de Montreal, fue suscrito en 1987 en esta ciudad por Estados Unidos y otros 26 países.

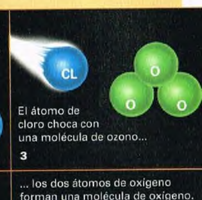
Gracias a estos tratados, la concentración del ozono se mantiene bajo continuo control mediante medidas de la radiación UV que incide a distintas latitudes. Todo esto, sin embargo, no es suficiente, ya que el control debe extenderse a escala global. Por este motivo, la NASA ha iniciado recientemente la construcción de una serie de satélites dedicados a la vigilancia constante de la capa de ozono del espacio.

Estos «centinelas celestes» constituyen unos instrumentos indispensables para la salvaguardia de nuestro planeta y serán fundamentales en el futuro para tratar de prevenir la formación de nuevos agujeros en este escudo natural sin el cual, recordémoslo, estaría en peligro la vida misma sobre la Tierra.

DATOS

MISIÓN	LANZAMIENTO	OBJETIVO
Serie Nimbus: **MUSE** (Monitor of Solar UV Energy) **BUV** (Backscatter UV Spectrometer) **SBUV** (Solar Backscatter UV) **OMS** (Ozone Mapping Spectrometer)	1969-1978	Mapa del ozono y de su distribución vertical en la estrafosfera
SAGE II (Stratospheric Aerosol and Gas Experiment) **ERBS** (Earth Radiation Budget Satellite)	1984	Mapa global del ozono a todas las latitudes
NOAA-9,11,L,K,M	1984-1998	Mapa de la distribución vertical del ozono en la estratosfera
SSBUV (Shuttle Solar Backscatter UV)	1989-1995	Calibración y control de instrumentos en órbita
TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) Meteor 3, Earth Probes, ADEOS	1991-1998	Mapa global del ozono
UARS (Upper Atmosphere Research Satellite)	1991	Control de radiación solar, estudio de la química y la dinámica de la atmósfera externa
ATLAS/STS Payloads	1992-1995	Control de la radiación solar, estudio de la química y la dinámica de la atmósfera externa
EOS (Earth Observing System)	1998-2012	Estudio de los procesos de formación del ozono





Interacción del ozono atmosférico con las radiaciones UV solares. El ozono absorbe las radiaciones UV y se escinde en una molécula de oxígeno diatómico y un átomo de oxígeno libre.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

EL PLANETA ROJO

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LOS AGUJEROS NEGROS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

CUERVO-COPA-SEXTANTE

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

LAS SONDAS INTERPLANETARIAS

EL USO DEL ESPACIO

EXPERIMENTOS EN ÓRBITA CON LA MICROGRAVEDAD

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

11



9 788439 554219
00011

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

PETICIÓN DE FASCÍCULOS ATRASADOS

Válido sólo para el territorio español y para no suscriptores.

Si desea recibir algún fascículo atrasado o tapas, rellene en LETRAS MAYÚSCULAS este boletín y envíelo a:
PLANETA-DeAGOSTINI, Apartado de Correos N.º 2.867 - 08080 Barcelona, o llame al Tel. **902 288 288***

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS

NOMBRE

CALLE O PLAZA

N.º PISO PUERTA ESC.

CÓDIGO POSTAL POBLACIÓN

PROVINCIA EDAD

TELÉFONO PROFESIÓN

FIRMA (Imprescindible)

• Recibirá contrarreembolso, más gastos de envío todo el material que nos haya solicitado.

SOLICITUD:

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Indique los números de los fascículos atrasados que desea recibir:

/ / / / / / / / /

/ / / / / / / / /

N.º de tapas que solicita: ____________

Indique si desea recibir la versión con vídeo o sin vídeo:

Con vídeo ☐ Sin vídeo ☐

• Planeta-DeAgostini mantendrá su servicio de petición de atrasados hasta un plazo máximo de 18 meses a partir de la fecha de venta de cada uno de los números que forman la colección.

EL PLANETA ROJO

Marte es el planeta más parecido a la Tierra, y a él apuntan los científicos como objetivo de una próxima misión con una tripulación humana.



El nombre de Marte deriva del conocido dios de la guerra de la mitología clásica. Esta asimilación se debe principalmente al color rojo con el que aparece en el firmamento. De los análisis que nos han facilitado las sondas, resulta que este planeta es el más parecido a la Tierra y el único sobre el cual el hombre podría poner el pie en un tiempo no demasiado lejano.

Marte es visible a simple vista y, observado a lo largo de un año completo, muestra un cambio aparente de dirección.

HISTORIA DE LAS OBSERVACIONES

Ya los antiguos se habían dado cuenta de que la trayectoria de Marte en el firmamento a lo largo del año no era regular. Gracias a la gran cantidad de datos obtenidos por las observaciones de Tycho Brahe, Kepler consiguió interpretar correctamente el movimiento de Marte, un planeta de órbita acusadamente elíptica en su recorrido alrededor del Sol. Dada la notable excentricidad de su órbita, la distancia entre Marte y el Sol cambia enormemente y pasa de un mínimo de 206 a un máximo de 249 millones de km. Esto provoca, además, una variación sensible de la distancia entre este



Arriba, imagen de la superficie de Marte tal como se presentó a la sonda Viking 1 en julio de 1976.

Una imagen bastante cercana de Marte, en la que pueden distinguirse los cráteres que hay en el planeta, similares a los del suelo lunar.



Arriba, las fases finales del montaje del Viking 1, una de las sondas gemelas enviadas por Estados Unidos y que aterrizaron en Marte.

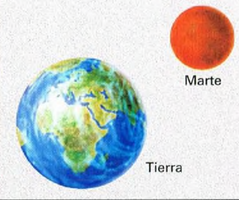
planeta y la Tierra (de 57 a casi 100 millones de km), con la correspondiente variación de la luminosidad de Marte tal como puede verse desde la Tierra. La duración de la rotación del planeta fue determinada con cierta precisión por Gian Domenico Cassini (1625-1712), que en 1666 la estimó en 24 horas y 40 minutos, muy cerca del valor real, que es de 24 horas, 37 minutos y 22 segundos.

El astrónomo Giovanni Schiaparelli (1835-1910), que fue director del observatorio de Brera, efectuó una serie de observaciones del planeta rojo, primero con un telescopio ecuatorial de 22 cm y luego con un refractor Mertz de 50 cm. A partir de

DATOS

MARTE

Masa: 6,41 x 10^{26} g
Masa (Tierra = 1): 0,11
Radio ecuatorial: 3.393 km
Densidad media: 3,95 g/cm^3
Densidad (Tierra = 1): 0,72
Volumen (Tierra = 1): 0,150
Período de rotación: 24 h 37 min 22 s



En la imagen puede verse, en primer plano, el brazo robotizado que se empleó para recoger las muestras de rocas en el suelo de Marte.

UN DESIERTO ROJO

La superficie de Marte aparece como un desierto terrestre con la arena roja en vez de amarilla. Además, hay muchísimas rocas pequeñas y piedras de todas formas y medidas, con diámetros que van desde unos pocos centímetros hasta algunos metros.



Fotografía tomada por las sondas Viking, en la cual se ve el suelo con rocas esparcidas.

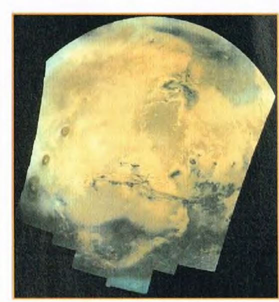
1875 trazó algunos mapas que mostraban mares y tierras, pero que, sobre todo, permitían aventurar la hipótesis de la existencia de canales en la superficie de Marte. Al principio, estos canales se interpretaron como vías de agua estrechas e irregulares, y más tarde como estructuras rectilíneas artificiales y navegables. Estos resultados tuvieron una difusión enorme en todo el mundo y suscitaron un debate internacional en torno a la idea de si los canales eran o no artificiales y, por tanto, sobre la posibilidad de que en Marte existiera una civilización avanzada. Las polémicas empezaron a disminuir con los estudios de otro astrónomo italiano, Vincenzo Cerulli, que demostró que los canales sólo eran, en realidad, el resultado de una elaboración mental de estructuras en el límite de la visibilidad.

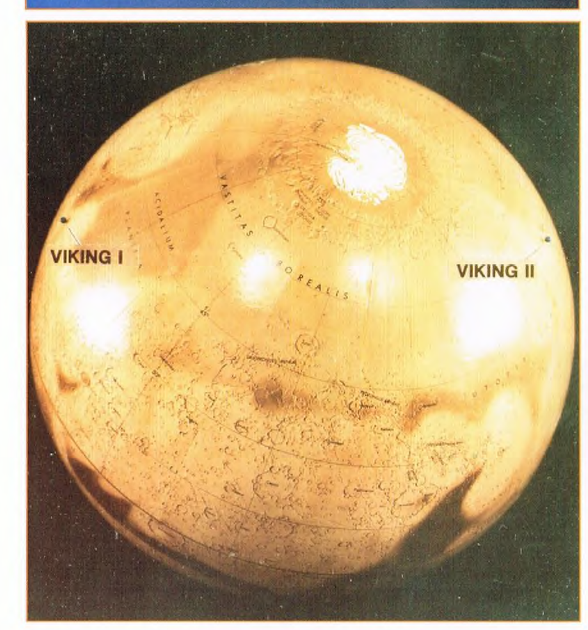
SONDAS EN MARTE

Sólo la exploración directa con las sondas ha permitido poseer datos más precisos y, por tanto, resolver muchos problemas que hasta entonces no habían tenido solución. En primer lugar, esto ha dado lugar a excluir la presencia de vida en Marte. Resultó muy importante el aterrizaje en suelo marciano de las dos sondas estadounidenses Viking, las cuales han ampliado nuestros conocimientos, especialmente en lo que se refiere a la geomorfología de Marte.

MARTE VISTO DESDE LA TIERRA

Observado con unos prismáticos, Marte no muestra características especiales, sino que aparece como un pequeño disco rojo. Sólo con un telescopio es posible observar las formaciones principales de su superficie, como los casquetes polares, que se ven como manchas blancas, y los desiertos rojos ocasionalmente cubiertos por inmensas tormentas de polvo. Una de las dificultades que encuentran los observadores está relacionada con estas tormentas. Las mejores condiciones para la observación se dan cuando el planeta está próximo al Sol, pero es entonces cuando tienden a desencadenarse las peores tormentas de arena, lo que hace muy difícil el estudio de la morfología de la superficie.
La formación más importante observable con un pequeño telescopio es la zona oscura de forma triangular llamada *Syrtis major*, vista por primera vez por el astrónomo holandés Christian Huygens en 1659.





Arriba, imagen en mosaico formada por más de 100 fotografías, que representa aproximadamente la mitad de la superficie del planeta.
A la izquierda, planisferio de Marte en el que se indican los lugares (muy distantes) donde aterrizaron las dos sondas.

A la construcción de las Viking se llegó después de una serie de trabajos en los que, durante casi una década, se proyectaron y experimentaron las cápsulas. La primera sonda que llegó a las cercanías del planeta rojo fue la estadounidense Mariner 4 que, en julio de 1965, envió 22 fotografías tomadas mientras sobrevolaba la superficie a unos 10.000 km de altura. Estas imágenes atestiguaban que, al menos a nivel macroscópico, en Marte no existe vida. En 1969, el Mariner 6, dotado por primera vez de un ordenador reprogramable desde tierra, tomó 75 fotografías desde 3.429 km de altura. Estas fotografías muestran el casquete polar sur con bordes irregulares. La superficie está cubierta por nubes de dióxido de carbono, que, probablemente, constituye el elemento de la atmósfera marciana.

En los mismos años, también la URSS envió una serie de sondas que recogieron una cantidad importante de datos. Entre estas sondas, hay que recordar la Mars 2 (1971) y la serie Mars 4, 5, 6 (1973-1974).

Sin embargo, fueron los estadounidenses los que, con el Mariner 9, descubrieron la montaña más alta de todo el sistema solar, el *Olympus Mons*, que se eleva 27 km por encima del suelo de Marte.

La partida de las Viking estuvo rodeada de una infinidad de problemas: por dificultades técnicas, en la víspera hubo que invertir el orden de lanzamiento, lo que obligó a cambiar el nombre de las sondas. A pesar de todo, la misión resultó un verdadero éxito; las dos sondas aterrizaron en agosto y septiembre respectivamente y en dos zonas distintas del planeta. Se escogieron a propósito dos destinos alejados entre sí más de 6.000 km, con objeto de poder explorar regiones diferentes. Ambas Viking estaban dotadas de un brazo telescópico móvil, capaz de recoger muestras del suelo y llevarlas a bordo, donde eran analizadas por el laboratorio instalado en las cápsulas. La gestión de todas las funciones de a bordo era controlada por el ordenador que, por primera vez, era capaz de tomar decisiones secuenciales autónomas. En cada uno de los dos módulos de aterrizaje, además de un laboratorio bioquímico, había también instrumentos meteorológicos, una telecámara digital que podía tomar imágenes incluso en el infrarrojo, y un sismógrafo. Las dos sondas habían sido diseñadas para transmitir datos durante tres meses, pero ambas tuvieron una duración muy superior: la Viking 2 dejó de transmitir en 1980, mientras que la Viking 1 lo hizo en 1982.

LA SUPERFICIE DE MARTE

La superficie de Marte es semejante a la de nuestra Luna, a pesar de que su morfología es más compleja debido a la presencia de cráteres, llanuras, cañones y volcanes.

En Marte hay agua (sobre todo en las regiones polares), pero está intercalada en las capas superficiales de las rocas en forma de permafrost.

La inclinación del eje de rotación también determina en Marte la alternancia de las estaciones y la variación de las temperaturas en la superficie. Por término medio, la temperatura es de -40 °C, con puntas de -14 °C en verano y de -120 °C en invierno.

A diferencia de las terrestres, las formaciones geológicas marcianas no se deben a la tectónica de placas, porque en este planeta la corteza no está dividida en placas como en la Tierra. En realidad, el enfriamiento del planeta y el consiguiente aumento de espesor de la corteza se oponían a una evolución de tipo tectónico. Marte ha evolucionado como un planeta de placa única, y sus características son endógenas (emergencia de material lávico del manto y vulcanismo) o exógenas (por ejemplo, impacto de meteoritos que, quizá, han fundido la corteza).

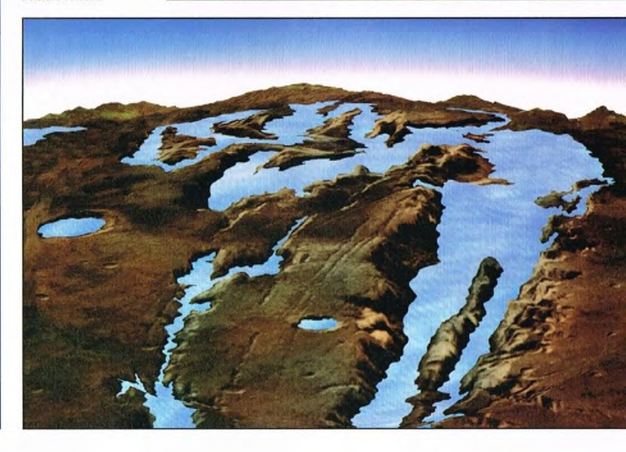
Existe una diferencia entre los dos hemisferios: el septentrional presenta llanuras lisas y con pocos cráteres, mientras que en el meridional pueden verse cráteres en una cantidad cinco veces mayor que en la otra mitad de Marte. Esto significa que el hemisferio sur es el más antiguo y se remonta a unos 3.800 millones de años, época del gran bombardeo meteorítico en todo el sistema solar. Entre los dos hemisferios hay una franja de una morfología especial: la región de Tharsis, dominada por los grandes edificios volcánicos, con los alineamientos de los montes Arsia, Pavonis y Ascreus, el *Olympus Mons* y un sistema de cañones llamado *Valles Marineris*.

LECHOS DE RÍOS

En la superficie de Marte hay muchas estructuras en forma de canales que recuerdan los lechos de los ríos terrestres. Son lechos gigantescos, y algunos de ellos pueden llegar a tener una anchura de 200 km. Se distinguen dos tipos de canales: uno que se divide en cursos menores y tortuosos, con muchas ramificaciones de tipo fluvial, y otro, más profundo, que mantiene las mismas dimensiones durante toda su longitud: es el llamado *outflow*. Esta diferencia podría deberse a un origen distinto: el primer tipo quizá se formó a partir de un río tradicional con agua superficial y la presencia de un clima benigno durante un tiempo largo; el otro se debería a un flujo violento y súbito de agua procedente, por ejemplo, de la fusión de la capa de permafrost. Un ejemplo del segundo tipo es el de *Valles Marineris*, con una longitud de más de 5.000 km y erosiones por el impacto de masas de agua liberadas súbitamente.



***A la derecha, imagen del cañón* Noctis Labyrinthus, *situado en el extremo occidental de* Valles Marineris.**
Abajo, el dibujo reproduce algunos cañones de* Valles Marineris *tal como podían aparecer cuando en Marte había océanos.



VIDA EN MARTE

Después de la polémica acaecida a principios de siglo sobre la naturaleza de los canales observados por Schiaparelli y del éxito de algunos libros de ciencia-ficción que describían la vida en Marte, el interés, y no sólo el científico, por este planeta siempre ha sido muy grande. Por ello, cuando las sondas empezaron a enviar imágenes y datos, hubo una gran desilusión al descubrirse, en primer lugar, que en la superficie no existían restos de civilizaciones marcianas (Mariner 4) y, en segundo lugar, que ni tan sólo había formas de vida primitivas (Viking 1 y 2). Los laboratorios de ambas sondas efectuaron experimentos bioquímicos que mostraron algunas reacciones inorgánicas debidas a las sustancias analizadas y que confirmaron la ausencia de cualquier forma de actividad biológica y de moléculas orgánicas en las muestras recogidas. Pero para tener una seguridad definitiva, habría que efectuar perforaciones más en profundidad y en distintas zonas del planeta. Según algunos expertos, las mejores regiones serían las polares.

OCÉANOS

A pesar de que su clima actual es frío y seco, en Marte hay muchas evidencias de la acción erosiva del agua y el hielo. Lechos fluviales imponentes, llanuras periglaciales, permafrost y casquetes helados demuestran que, a lo largo de su historia geológica, el clima ha sido templado, lo que ha permitido la presencia de agua en la superficie.

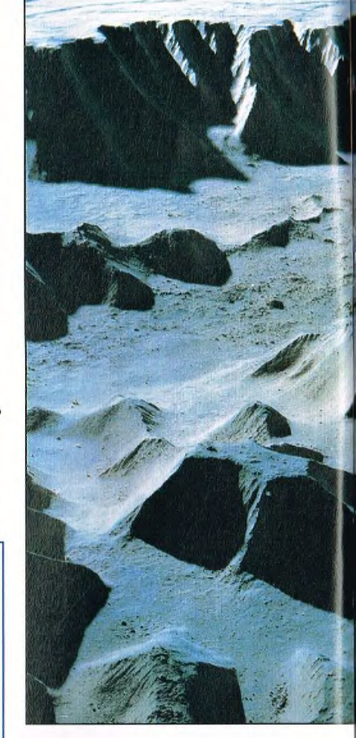
Las primeras eras geológicas fueron testigos de un intenso bombardeo meteorítico y de un vulcanismo generalizado. Durante este período, se desarrollaron los lechos de los ríos gracias a la erosión de antiguos cráteres por acción del agua. El flujo necesario para estas erosiones no puede explicarse únicamente con la fusión y la circulación del agua por la capa de permafrost, sino que forzosamente tuvo que producirse un ciclo hidrodinámico con circulación atmosférica de vapor de agua. La presencia de lechos fluviales regularmente distribuidos hace pensar en un clima benigno y regulado.

Una consecuencia casi obligada de este hecho es la existencia de océanos estables con ciclo completo del agua: evaporación del mar, condensación en nubes y precipitaciones sobre el suelo marciano.

Para explicar el final del ciclo hidrodinámico y la subsiguiente absorción del agua por las rocas porosas en un estado de permafrost, hay que considerar la inestabilidad de la atmósfera. La menor masa del planeta y, por tanto, su gravedad inferior a la terrestre son la causa principal de la falta de equilibrio. La mayor parte de los gases que formaban la atmósfera de Marte pasaron al espacio hasta llegar a los valores actuales.

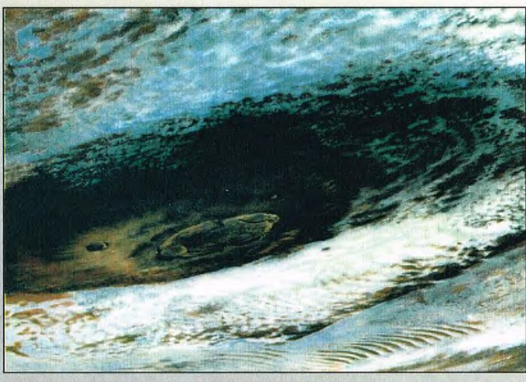
Después de un principio con un clima estable y prolongado, probablemente se produjeron episodios aislados y repetidos de formación de un océano en la superficie. Esto explicaría los canales de tipo *outflow*, la existencia de *Valles Marineris* y la del resto de las fracturas que se extienden a partir de los montes Tharsis. La formación más reciente de los océanos podría deberse esencialmente a la fusión de permafrost provocada por el vulcanismo. Es una teoría confirmada por la posición de los cañones, que se encuentran siempre en las inmediaciones de las estructuras volcánicas. La liberación de agua genera cambios en la atmósfera, que se llena de vapor de agua y de dióxido de carbono liberado por el suelo. Por esto, el efecto invernadero aumenta, provocando un aumento de la temperatura que, a su vez, causa inundaciones de los casquetes polares. Este ciclo acaba con la infiltración lenta y constante de agua en el terreno, un terreno que, en Marte, es poroso casi en todas partes. Cuando el océano se contrae, se reducen también sus efectos sobre la atmósfera, lo que favorece el aumento del albedo (a causa del hielo que se forma en superficie) y, por lo tanto, la disminución de la temperatura. Cuando acaba un ciclo, toda el agua vuelve a quedar aprisionada en el suelo marciano.

Como con el paso del tiempo la temperatura interna del planeta ha disminuido, también se ha reducido el vulcanismo y se ha estabilizado el clima a los valores actuales. Es muy difícil que vuelva a repetirse otro ciclo oceánico.

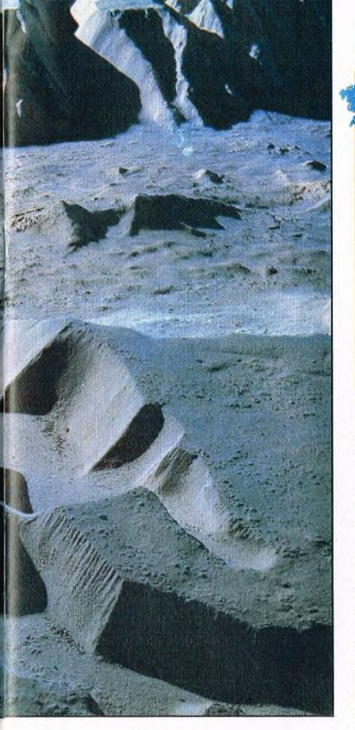


EL OLYMPUS MONS

La montaña más espectacular de todo el planeta es, sin duda, el *Olympus Mons,* que se encuentra por encima del ecuador, a 20° aproximadamente. Se alza hasta 27 km de altura sobre las llanuras circundantes, con lo cual es el monte más elevado de todo el sistema solar. Se trata de un volcán con una forma casi circular y un diámetro de 600 km. En la cima, el cráter colapsado forma una caldera de 90 km de diámetro. En general, los volcanes de Marte son muy parecidos a los terrestres, aunque, por término medio, son más elevados a causa de la falta de tectónica de placas. Mientras que los terrestres están alimentados por material del manto sólo durante un tiempo limitado, ya que deben seguir los movimientos de la placa a la que pertenecen, los marcianos permanecen estables sobre la cámara magmática. De este modo, el volcán aumenta sus dimensiones con un crecimiento continuo que hace que llegue a alcanzar altitudes impensables en la Tierra.



Arriba, reconstrucción del* Olympus Mons *basada en datos proporcionados por las sondas Viking.



MOVIMIENTO RETRÓGRADO

Observando Marte desde la Tierra, se percibe que, a lo largo del año, la dirección de su movimiento en el firmamento cambia y, durante cierto período, parece volver hacia atrás. Es el fenómeno que los astrónomos llaman movimiento retrógrado. En realidad, el trayecto del planeta rojo es lineal y el cambio de dirección se debe a la diferencia entre las órbitas de Marte y la Tierra. Como Marte debe hacer un recorrido mayor, según muestra el dibujo de la derecha, queda atrás respecto a nuestro planeta, y las posiciones recíprocas determinan un aparente cambio de posición.



En su posición en el firmamento, Marte parece cambiar de dirección y volver atrás, ya que recorre más lentamente su órbita.

Reconstrucción del Rift Valley basada en datos del Viking. Con la variación de las estaciones, la arena se levanta y genera enormes tormentas.

LA ATMÓSFERA

Los análisis de las sondas han demostrado que la fina capa atmosférica de Marte está compuesta esencialmente de dióxido de carbono, con pequeñas cantidades de nitrógeno, argón, oxígeno y vapor de agua. La presión en el suelo es muy baja, aproximadamente 6 milésimas de la terrestre. Esta menor cantidad de gases determina la llegada al suelo de un porcentaje mayor de radiaciones solares perjudiciales que no pueden ser absorbidas.

El cielo de Marte no es azul como el terrestre, pero tampoco negro como en los planetas sin atmósfera: un hipotético astronauta que se encontrara en su superficie vería un cielo rojizo debido a la presencia constante de polvo en suspensión.

La baja densidad hace que la difusión del calor a través de los vientos sea muy escasa, lo que genera grandes diferencias de temperatura entre las diversas zonas. Las nubes marcianas están formadas por agua y dióxido de carbono. Son parecidas a los cirros terrestres, pero adquieren un aspecto ciclónico en las cercanías de los relieves, que, con su altura, modifican las condiciones meteorológicas del entorno.

LOS POLOS DE MARTE

Los polos son una de las pocas características del planeta que pueden verse desde la Tierra con un pequeño telescopio. Estas zonas están cubiertas por casquetes de hielo a los que en invierno se superpone una capa de hielo seco, es decir, de dióxido de carbono en estado sólido. Durante la estación fría, ambos casquetes polares tienden a expandirse y llegan, respectivamente a 60° de latitud N y 60° S. A estas latitudes la capa de dióxido de carbono llega a tener 50 cm. Alrededor de los casquetes helados se extienden regiones en las que hay depósitos estratificados de polvo mezclado con hielo. Estos sedimentos son visibles especialmente en los flancos de las hendiduras y de los cañones.

Con la llegada del calor, el dióxido de carbono se sublima y migra hacia el polo opuesto. Puede ocurrir que la sublimación se produzca con demasiada rapidez, lo que hace que se emitan a la atmósfera cantidades enormes de gas, generadoras de vientos muy violentos. Estos fenómenos van acompañados de tormentas de polvo a escala planetaria, capaces de hacer que la atmósfera se vuelva opaca, incluso durante algunas semanas, antes de que el polvo en suspensión vuelva a depositarse en el suelo.

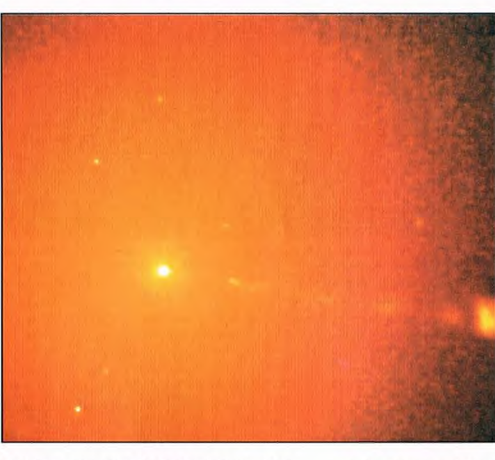
LOS SATÉLITES DE MARTE

Marte tiene dos pequeños satélites, Fobos y Deimos, que toman su nombre de dos escuderos del Marte mitológico, dios de la guerra. Descubiertos relativamente tarde, en 1877, tienen una forma irregular y son muy parecidos a asteroides, con diámetros medios de 22 y 14 km, respectivamente. Las órbitas de estas dos lunas están inclinadas aproximadamente 2° respecto al plano del ecuador marciano y son muy pequeñas. Fobos, el más próximo, recorre una órbita completa en 7 horas y 39 minutos y durante un día efectúa tres revoluciones alrededor de Marte. Deimos, en cambio, emplea 30 horas y 17 minutos para efectuar una vuelta completa.



A la derecha, fotografía del polo sur de Marte. Los casquetes glaciales se expanden durante el invierno.

AGUJEROS NEGROS



A la izquierda, imagen tomada por el telescopio espacial Hubble de un disco espiraliforme de gas caliente en el interior del núcleo de la galaxia activa M87. Las observaciones han demostrado que el disco de materia está en rotación alrededor de un cuerpo central (invisible en la imagen). La elevada velocidad de rotación que se ha medido sólo es explicable suponiendo que el cuerpo invisible tenga una masa enorme, aproximadamente 3.000 millones de masas solares. Por lo tanto, podría tratarse de un agujero negro.

Objeto de hipótesis por parte de los físicos, buscados por los astrónomos, soñados por los escritores de ciencia-ficción, los agujeros negros representan, en cierto modo, el santo Grial de la astronomía.



Las imágenes que llegan del espacio y de los telescopios situados en tierra son fascinantes por la variedad de formas y colores que ofrecen al observador. Gracias a ellas, es posible reconocer, con un poco de atención, la infinita variedad de los cuerpos celestes que hay en el universo: estrellas de todos colores y tamaños, galaxias con la característica forma en espiral y nebulosas con las formas y colores más diversos. Al igual que en un gran parque natural sentimos curiosidad por los animales más exóticos, también en este inmenso zoo cósmico nos sentimos fascinados por unos ejemplares más que por otros: son los cuerpos celestes más misteriosos y más difíciles de observar, cuya naturaleza todavía no se conoce con exactitud. Entre estos cuerpos, los que más estimulan la imaginación son los agujeros negros.

EL CONCEPTO DE AGUJERO NEGRO

En el lenguaje corriente, agujero negro ha pasado a designar una especie de pozo sin fondo en el cual cualquier cosa está destinada a desaparecer sin dejar huella. Pero, ¿qué son realmente los agujeros negros? Para comprenderlo, hay que retroceder un par de siglos. En el siglo XVIII, Pierre Simon de Laplace predijo la existencia de estos objetos y apuntó la hipótesis de la existencia en el universo de cuerpos

EL CAMPO GRAVITATORIO

Un cuerpo de una masa determinada, como por ejemplo la Tierra, posee un campo gravitatorio que ejerce una fuerza de atracción sobre los cuerpos circundantes. Por este motivo, un objeto lanzado al aire vuelve a caer al suelo. Pero si este mismo objeto se lanza con la velocidad suficiente, escapará de la atracción gravitatoria de la Tierra y se alejará en el espacio. La mínima velocidad necesaria se llama velocidad de escape, que, en el caso de la Tierra, es de alrededor de 11 km/s. La velocidad de escape depende de la densidad del cuerpo celeste que genera el campo gravitatorio. Concretamente, cuanto mayor es su densidad, mayor es la velocidad que un cuerpo ha de alcanzar para poder escapar de la superficie.



El lanzador Thor-Delta en posición sobre la plataforma de lanzamiento.



Arriba, imagen del núcleo de la galaxia M51 tomada con el instrumento Wide Field and Planetary Camera (WFPC), a bordo del telescopio espacial Hubble. En el centro de la imagen se distingue claramente una región oscura, curiosamente en forma de x, que está determinada por la presencia de un agujero negro de un millón de masas solares aproximadamente.
A la izquierda, representación pictórica de un agujero negro tal como aparecería ante un improbable observador situado en un planeta cercano.

de una densidad tan elevada que tendrían una velocidad de escape superior a la velocidad de la luz, 300.000 km/s. En tal caso, ni la luz conseguiría ser tan rápida que pudiera huir de la fuerza de atracción de tales cuerpos y, por lo tanto, permanecería atrapada para siempre en el interior de su campo gravitatorio. Dado que un cuerpo así no podría emitir luz, resultaría completamente invisible y podríamos imaginarlo únicamente como un gran agujero, negro en lo que a observación se refiere.

LAS TEORÍAS MODERNAS

Sin embargo, en los primeros años de este siglo, con la aparición de la teoría de la relatividad general de Einstein, se descubrió que el espacio y el tiempo están afectados por la presencia de cuerpos masivos y que el campo gravitatorio es equivalente a una distorsión del espacio-tiempo. Este concepto fue desarrollado por el físico alemán Karl Schwarzschild, que puso las bases matemáticas de la teoría de los agujeros negros.

En este contexto, se podía justificar la idea de que la luz está también sujeta a la acción de la fuerza de la gravedad. Con casi dos siglos de anticipación, Laplace ya había tenido –aunque probablemente sin él saberlo– una de las intuiciones más importantes de la historia de la física. ¿De dónde proceden los agujeros negros y cómo se forman? Los agujeros negros, que desde 1967 deben su nombre al astrofísico estadounidense John Wheeler, no son más que el producto final de la evolución de estrellas de gran masa (aproximadamente, una masa superior a 10 masas solares).

LA FORMACIÓN DE LOS AGUJEROS NEGROS

La existencia de una estrella se basa en un delicado equilibrio entre la presión hacia el exterior, ejercida por la radiación que producen las reacciones nucleares que tienen lugar dentro de ella, y la presión

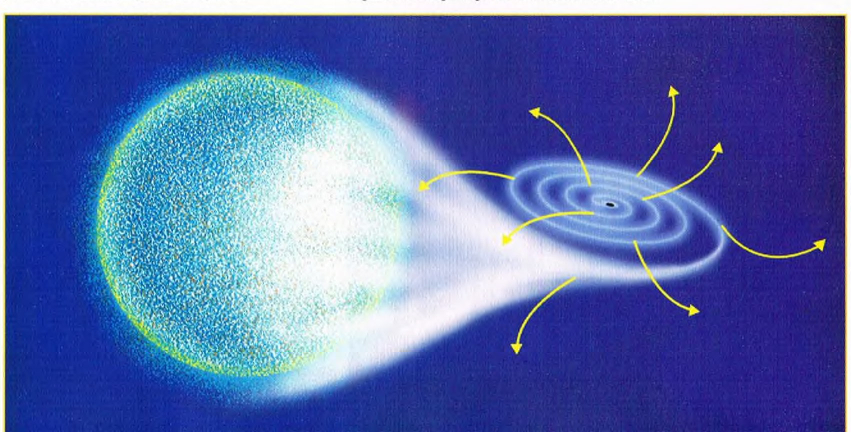
hacia el interior debida a su propia masa. No obstante, esta condición no es estable, aunque con el tiempo sufre varios ajustes. En realidad, a medida que se agotan las reservas de hidrógeno, se atenúa también la presión centrífuga de la radiación, y la estrella va hacia una nueva contracción gravitatoria. Entonces, la temperatura central sufre un nuevo aumento y se inician nuevas reacciones de fusión que, esta vez, utilizan los productos de las reacciones anteriores. De esta manera, la contracción gravitatoria se bloquea y la estructura interna de la estrella vuelve a estabilizarse. A lo largo de su vida, la estrella pasa muchas veces por fases similares, pero cada vez son más breves. Cuando la estrella ha agotado todas sus reservas de combustible nuclear y ya no son posibles más reacciones, va hacia su última y definitiva contracción. En la práctica, es un paso que supone la muerte de la estrella. Ya en este punto, su destino viene determinado únicamente por la masa. Si la estrella tiene una masa inferior a pocas masas solares, continúa contrayéndose hasta apagarse lentamente. Y, al contrario, si la masa es muy grande, de al menos 10 masas solares, su muerte ocurre de una manera mucho más espectacular. La estrella moribunda acaba su existencia con una enorme explosión durante la cual emite en pocos segundos tanta energía como la que puede emitir el Sol en toda su vida. Un acontecimiento así se llama explosión de supernova y produce inmensas nubes de gases en expansión, que son las capas más externas de la estrella arrojadas al espacio. Pero la estrella deja tras de sí una huella más lábil de su existencia: con la explosión, su núcleo sufre lo que se llama un colapso gravitatorio completo, durante el cual toda la masa que queda se agrega en una esfera de dimensiones extremadamente compactas y de una densidad igual a 10.000 veces la del núcleo atómico. Se trata, en realidad, de una masa equivalente más o menos a 10 veces la del Sol, concentrada en una esfera de unos pocos kilómetros de diámetro. Se forma de este modo un agujero negro.



Las dos imágenes de la izquierda muestran la región central del núcleo de la galaxia NGC 6393 tomada con la WFPC. La galaxia se halla a unos 100 millones de años luz en la dirección de la constelación de Virgo y alojaría en su núcleo un gigantesco agujero negro, cuya masa equivaldría más o menos a mil millones de masas solares. La figura de abajo es el panorama imaginario que se observaría desde un hipotético planeta en órbita alrededor de un agujero negro.

LOS AGUJEROS NEGROS Y LA FÍSICA FUNDAMENTAL

Los agujeros negros representan un formidable laboratorio natural en el cual los científicos pueden verificar las hipótesis más avanzadas de la física teórica. Según la teoría de la relatividad general formulada por Einstein, las leyes de la física están influidas por el campo gravitatorio local. En especial, el paso del tiempo se produciría con ritmos diversos



Según las teorías actuales, la mayor parte de los agujeros negros no se originarían aisladamente, sino en sistemas binarios. En estos casos, el agujero negro ejercería una acción de «canibalismo» sobre la estrella compañera, de la que aspiraría las capas superficiales, precisamente por la intensa atracción gravitatoria ejercida.

Satélite atraído hacia el agujero negro

El agujero negro crea una curvatura en el espacio-tiempo

Punto de no retorno, superado el cual el satélite es engullido por el agujero negro (horizonte de los sucesos)

Las líneas blancas circulares ponen de manifiesto la curvatura del espacio-tiempo

Ejemplo del modo en que el campo gravitatorio creado por un agujero negro distorsiona el espacio circundante. En este caso, el espacio está visto sólo en dos dimensiones y se representa mediante la superficie cuadriculada. La deformación de la superficie está inducida en el espacio circundante por la acción gravitatoria de un cuerpo masivo. Si el cuerpo tiene una masa y una densidad extremadamente elevadas, como en el caso de un agujero negro, el espacio sufre una distorsión mayor y se precipita hacia su centro. En algunos casos, la deformación del espacio-tiempo es tal que, según los estudiosos, podría crearse una especie de galería de conexión entre dos universos paralelos.

en presencia de campos gravitatorios de diferente intensidad. Por ejemplo, el tiempo transcurriría más lentamente en las proximidades de un agujero negro que cerca del Sol. Pero no sólo un agujero negro influiría en el paso del tiempo, sino que también el espacio en torno a él tendría una estructura diferente.

En efecto, según la teoría de la relatividad general, la presencia de un campo gravitatorio fuerte generado por un cuerpo masivo como un agujero negro distorsionaría la estructura del espacio circundante, e incluso su misma geometría sería distinta. Esto significa que, en las proximidades de un agujero negro, el camino más corto para unir dos puntos en el espacio ya no es la línea recta, sino una línea curva cuya forma viene determinada por la entidad de la distorsión espacial y, consiguientemente, por la masa misma del agujero negro. Esto es lo que ocurre en el exterior. Pero, ¿qué hay realmente dentro de un agujero negro? Se trata de una pregunta que durante mucho tiempo, quizá siempre, quedará sin respuesta exacta. Las condiciones físicas en el interior de un agujero negro son tan diferentes de cualquier realidad reproducible de forma experimental, que harán que cualquier tipo de previsión resulte muy atrevida. Por este motivo, surgen muchas teorías que es difícil confirmar o desmentir. Entre las más audaces, cabe mencionar la hipótesis según la cual los agujeros negros, por el hecho de distorsionar de una manera tan sensible el espacio y el tiempo, representan una especie de punto de paso entre dimensiones diferentes. En particular –prosigue la hipótesis– si se entrara en un agujero negro, se saldría a otro agujero negro y, por tanto, a un punto diferente del espacio y quizá también del tiempo. Por esto, hay quien abriga la convicción de que los agujeros negros pueden constituir un medio para viajar por el espacio a velocidades instantáneas o, incluso, viajar por el tiempo. Naturalmente, en estos casos resulta bastante difícil establecer un límite exacto entre la especulación teórica y la fantasía. En base a la física, la hipótesis más creíble que conocemos es que cualquier objeto que se precipitase a un agujero negro, quedaría destruido por su inmenso campo gravitatorio.

¿DÓNDE ESTÁN LOS AGUJEROS NEGROS?

Como las teorías de la evolución estelar dicen que las estrellas de gran masa deberían ser la mayoría, cabe esperar que los agujeros negros de nuestra galaxia sean bastante numerosos. Dado que las estrellas tienden a nacer en sistemas binarios, los agujeros negros no serían objetos solitarios, sino que en su mayor parte tendrían como compañera otra estrella. Junto a los agujeros negros de tipo estelar, formados a consecuencia del colapso gravitatorio de estrellas masivas, hay también una familia de «hermanos mayores». Estos agujeros negros se formarían en el interior del núcleo de una galaxia después del colapso gravitatorio de la materia acumulada en su centro a lo largo de miles de millones de años. Las masas de estos agujeros negros gigantescos serían del orden de algunos centenares de millones de masas solares, equivalentes aproximadamente al 1% de la masa total de la galaxia huésped. Por este motivo, suelen llamarse agujeros negros supermasivos. Según las últimas teorías, todas las galaxias, incluida la Vía Láctea, tendrían un gigantesco agujero negro en su centro, y sería precisamente a causa de su acción gravitatoria que nosotros vemos la mayor parte de la materia luminosa concentrada en las regiones centrales. Esto significaría que los agujeros negros, considerados por los físicos durante mucho tiempo como una simple abstracción teórica o incluso pura fantasía, serían algunos de los objetos más comunes que existen en nuestro universo. De hecho, ya se han descubierto algunos de tales objetos, uno de ellos, concretamente, en el centro de nuestra Vía Láctea.

PERSONAJES

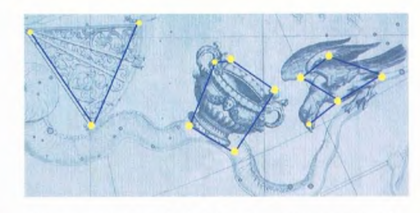
KARL SCHWARZSCHILD



1873 - 1916

Karl Schwarzschild fue uno de los más famosos físicos y astrónomos alemanes. A lo largo de su carrera, obtuvo numerosos reconocimientos académicos. Fue profesor de física en la universidad de Munich y director de los observatorios astronómicos de Gottinga y Potsdam. Además de coautor de muchísimos trabajos teóricos sobre los agujeros negros, Schwarzschild se ocupó también de la estadística estelar, disciplina en la cual obtuvo notables resultados.

CUERVO-COPA-SEXTANTE



El Cuervo, encargado por Apolo de llevarle agua, se encuentra en el firmamento contiguo a la Copa que la contenía y al Sextante.

Las constelaciones del Cuervo, de la Copa y del Sextante son tres pequeños asterismos visibles en marzo, abril y mayo.



El Cuervo, la Copa (o Cráter o también Taza) y el Sextante forman un grupo de tres pequeñas constelaciones situadas sobre la cercana Hidra, en las proximidades de la imponente constelación de Virgo.

CÓMO LOCALIZAR LAS CONSTELACIONES

Inmediatamente al sur de las constelaciones zodiacales de Leo y Virgo se encuentran estos tres asterismos.

El Sextante es la constelación que se encuentra partiendo de Régulo –la estrella más brillante de Leo– y avanzando unos 12° hacia el sur. Pero difícilmente se consiguen percibir sus débiles estrellas. Por tanto, conviene buscar la Copa, unos 20° al sudeste del Sextante.

LAS ESTRELLAS MÁS IMPORTANTES

Estas constelaciones tienen pocas estrellas especialmente luminosas.

DÓNDE BUSCARLA

CUERVO-COPA-SEXTANTE

La constelación del Cuervo abarca una región del cielo comprendida entre 11° S y 25° S de declinación, y entre 11 horas 55 minutos y 12 horas 55 minutos de ascensión recta. Junto a ella se encuentra la constelación de la Copa, con una declinación comprendida entre 6° S y 25° S, y una ascensión recta entre 10 horas 50 minutos y 11 horas 55 minutos. Más al norte, a caballo sobre ambos hemisferios, está el Sextante, con una declinación entre 7° N y 11° S, y una ascensión recta entre 9 horas 40 minutos y 10 horas 50 minutos.

Las más brillantes son: Gamma *Corvi* (magnitud 2,6), de color azul; seguida de Beta (magnitud 2,7), una estrella amarilla, de Delta y de Épsilon, ambas de magnitud 3. La estrella Alfa es solamente de magnitud 4.

Delta *Crateris*, la estrella más brillante de la constelación de la Copa, es de magnitud 3,6. El resto son todas de magnitud superior a cuatro. Por otra parte, en la constelación del Sextante, la estrella más brillante, Alfa, es de magnitud 4,5.

Entre las estrellas más interesantes cabe citar Delta *Corvi*, una estrella doble que requiere un telescopio para ser resuelta en sus componentes. La más brillante es una estrella blanca de magnitud 3, mientras que la secundaria es de color rojo y brilla con una magnitud 9,2.

Aunque es visible a simple vista, R *Corvi* es digna de mención: aproximadamente en un año, su magnitud fluctúa entre 6,7 y 14,4, con una variación de casi ocho magnitudes.

OBJETOS EN LAS TRES CONSTELACIONES

Escrutando con un telescopio las partes de firmamento ocupadas por estas tres constelaciones, difícilmente se podrán encontrar objetos dignos de tenerse en cuenta: NGC 3115, una galaxia elíptica de magnitud 9 en la constelación del Sextante es el más manifiesto.

Más especiales son las dos galaxias conocidas con las siglas NGC 4038 y NGC 4039, en la constelación del Cuervo. Se encuentran casi en contacto entre sí, tanto que la mutua atracción gravitatoria las ha deformado, obligándoles a adquirir una forma curiosa que justifica el sobrenombre que se les ha dado: «Antenas». Pero su magnitud, en torno a la undécima, hace que sean difíciles de ver con un telescopio de aficionado.

La extremada escasez de objetos contenidos en las constelaciones del Cuervo, de la Copa y del Sextante se explica por las pequeñas dimensiones que éstas tienen y por su posición, algo alejada de la Vía Láctea, la zona más densamente poblada de la bóveda celeste.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

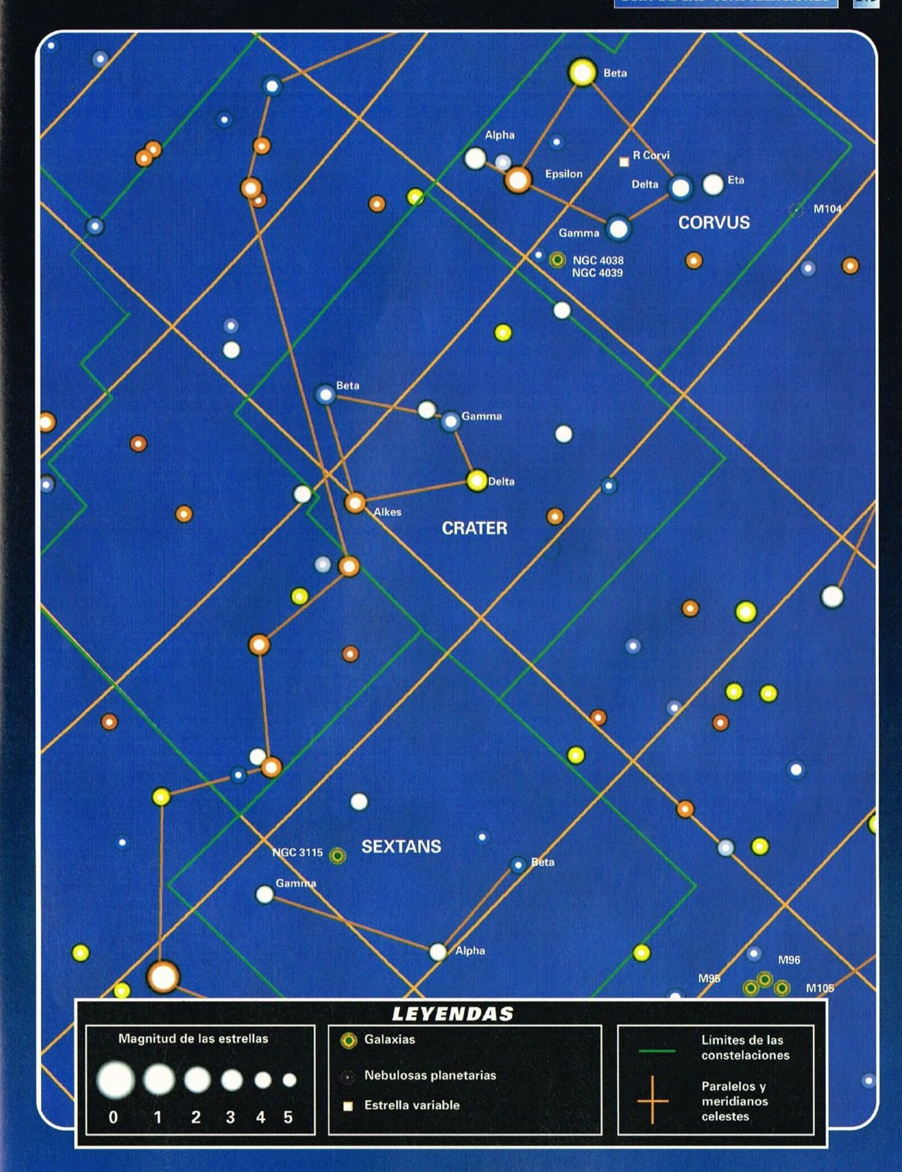
CUERVO-COPA-SEXTANTE

El Cuervo aparece en diversas leyendas de la antigua Grecia. Según una de ellas, Apolo había enviado al Cuervo a que le llevara agua, pero el pájaro se detuvo en el camino para comer higos. Como llegó tarde, se justificó ante el dios inventando una excusa, pero fue descubierto. Encolerizado, Apolo quiso castigar al Cuervo relegándolo al cielo con la Copa que debiera haber servido para llevarle el agua.

El origen del Sextante es más prosaico: el astrónomo polaco Hevelius quiso a toda costa recordar su precioso instrumento, perdido en un incendio.



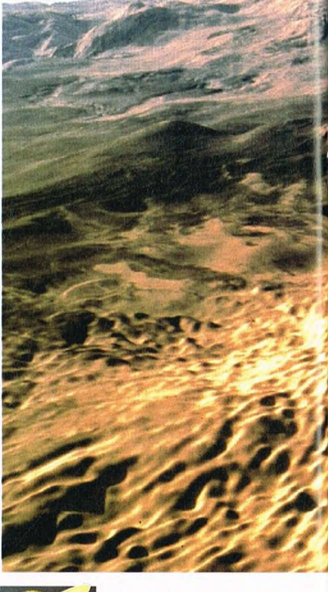
NGC4038-9, una pareja de galaxias llamadas «Antenas» por la forma distorsionada que presentan, debida a su recíproca atracción gravitatoria.



Beta
Alpha
R Corvi
Epsilon
Delta
Eta
M104
CORVUS
Gamma
NGC 4038
NGC 4039
Beta
Gamma
Delta
Alkes
CRATER
SEXTANS
NGC 3115
Beta
Gamma
Alpha
M96
M95
M105
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Nebulosas planetarias
Estrella variable
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LAS SONDAS INTERPLANETARIAS

El envío de sondas interplanetarias hacia planetas del sistema solar ha permitido nuevos y fascinantes descubrimientos en estos mundos. Incluso las regiones más alejadas del Sol han sido alcanzadas por la sonda Pioneer 10.



Las sondas interplanetarias que el hombre ha enviado al espacio en los últimos 40 años han visitado todos los planetas del sistema solar con la única excepción de Plutón. Estas sondas han revelado la presencia de lechos de ríos, hoy secos, en Marte; grandiosas tormentas en Neptuno

TRAYECTORIA INTERPLANETARIA DE LA SONDA CASSINI

Llegada a Saturno
4 julio 2004
Sobrevuelo
de Júpiter
8 enero 2000
Lanzamiento
15 octubre 1997
Maniobra
11 diciembre 1998
Sobrevuelo
de la Tierra
25 agosto 1998
Sobrevuelo de Venus
29 junio 1999
Sobrevuelo de Venus
30 abril 1998

A la izquierda, el proyecto NASA/ESA del vehículo espacial Cassini consiste en el vehículo orbitante Cassini (facilitado por la NASA) y la sonda separable Huygens (facilitada por la ESA). Aquí, la sonda se separa del vehículo principal y desciende hacia Titán. El gráfico muestra cómo después de haber salido de la Tierra en 1997, la sonda Cassini/Huygens se dirige hacia Venus y Júpiter para llegar a Saturno en 2004.

y volcanes activos en una de las lunas de Júpiter. En los años noventa, se han efectuado numerosas misiones, algunas de las cuales todavía no han terminado. Sin embargo, para el próximo milenio ya se ha previsto un número mayor.

Se necesita mucho tiempo para llevar a cabo una misión con una sonda interplanetaria. El primer paso consiste en la planificación de los objetivos y de los requisitos indispensables: metas y modalidades, instrumentos que deben instalarse a bordo, dimensiones y costes. Se pasa luego a las fases de proyecto, construcción, pruebas y, finalmente, al lanzamiento de la sonda.

DESTINO FINAL

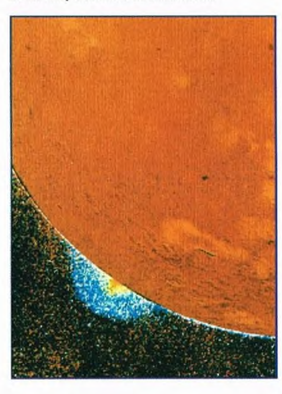
Una de las decisiones que deben tomarse desde el comienzo de una misión es la órbita que deberá seguir la sonda. En la práctica, aprovechando un eventual alineamiento de planetas, los científicos pueden decidir la exploración de algunos de ellos con la sonda en una única misión, lo que obliga a calcular la cantidad de carburante necesaria.

En algunos casos, puede llegarse a un compromiso: una misión que ha de desarrollarse en poco tiempo requiere bastante combustible, pero otra misión en la cual la duración del viaje de la sonda no es importante necesitará una cantidad de combustible menor. En efecto, en este caso, la sonda puede dirigirse hacia los planetas utilizando la fuerza de la gravedad de éstos para incrementar la propulsión. Esta opción con consumo de energía mínimo se llama órbita de transferencia Hohmann y es el método más económico para hacer viajar una sonda por el espacio.

A menudo, las misiones se conciben para que formen parte de una serie, como las sondas estadounidenses Mariner y las soviéticas Venera. Estas últimas, por ejemplo, empezaron con la sonda Venera 1, en febrero de 1961, y terminaron en junio de 1983 con la Venera 15.

Durante la misión, los científicos cuidan en tierra de que la sonda siga la trayectoria correcta, comparando las imágenes de la

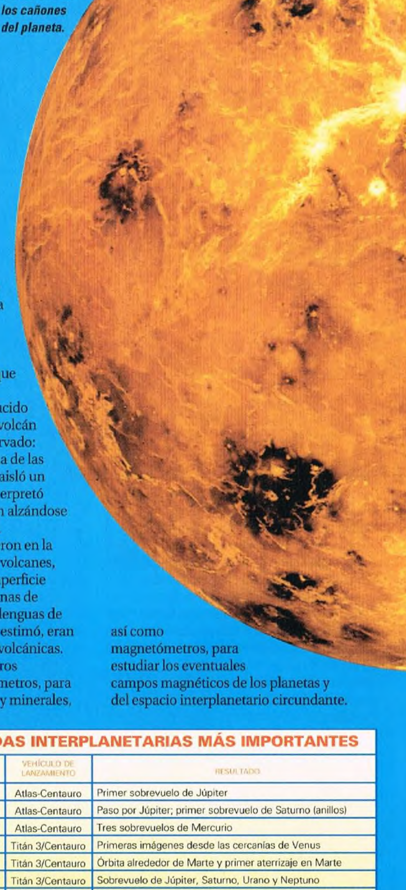
Arriba, una imagen reconstruida por ordenador del volcán monte Sapas, en Venus. La sonda Magellan visitó este planeta entre 1990 y 1994 y envió a la Tierra datos recogidos con radar. El volcán del centro de la imagen tiene un diámetro de 400 km y una altura de 1.500 metros.



A la derecha, erupción volcánica en Ío, una de las 16 lunas de Júpiter. Las dos sondas Voyager localizaron en Ío numerosos volcanes activos. El chorro visible tiene una altura de 200 km y una velocidad de 1.000 m/s.



A la izquierda, las sondas Viking transmitieron los datos tomados de Marte; con ellos, ha sido posible generar esta imagen informatizada en 3-D de uno de los cañones del planeta.



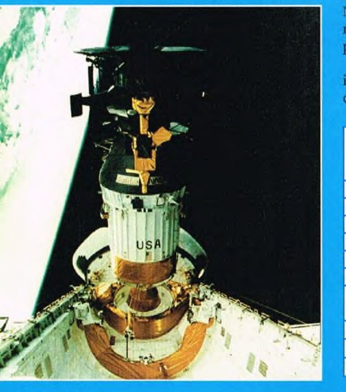
bóveda estelar tomadas por la sonda con las que tienen a su disposición. Si en un momento dado se detectan diferencias, se envían señales radio que, captadas por las antenas del vehículo espacial, permiten efectuar en vuelo las maniobras de corrección oportunas.

La elección de los instrumentos de a bordo es muy importante: muchas sondas van equipadas con cámaras fotográficas gracias a las cuales se pueden obtener informaciones sobre la composición y estructura de la atmósfera, y sobre las principales características de la superficie del planeta explorado. Por otra parte, estudiando diversas imágenes durante un largo período de tiempo es posible apreciar eventuales cambios que pueden haber ocurrido en el planeta. Esta técnica ha conducido al descubrimiento del primer volcán activo no terrestre jamás observado: en algunas imágenes de Ío, una de las lunas galileanas de Júpiter, se aisló un penacho de materia que se interpretó como la erupción de un volcán alzándose desde la superficie del satélite.

Seguidamente, se descubrieron en la superficie de Ío otros muchos volcanes, mientras que en la brillante superficie helada de Tritón, una de las lunas de Neptuno, se observaron unas lenguas de material oscuro que, según se estimó, eran probables testigos de coladas volcánicas.

Las sondas pueden llevar otros instrumentos, como espectrómetros, para detectar la presencia de gases y minerales, así como magnetómetros, para estudiar los eventuales campos magnéticos de los planetas y del espacio interplanetario circundante.

Abajo, en 1989, la sonda Galileo fue lanzada al espacio por un transbordador. Durante su misión hacia Júpiter, la antena principal no logró desplegarse completamente.



DATOS	LAS SONDAS INTERPLANETARIAS MÁS IMPORTANTES			
	PAÍS	FECHA	VEHÍCULO DE LANZAMIENTO	RESULTADO
PIONEER 10	(EEUU)	3/3/1972	Atlas-Centauro	Primer sobrevuelo de Júpiter
PIONEER 11	(EEUU)	6/4/1973	Atlas-Centauro	Paso por Júpiter; primer sobrevuelo de Saturno (anillos)
MARINER 10	(EEUU)	3/11/1974	Atlas-Centauro	Tres sobrevuelos de Mercurio
VIKING 1	(EEUU)	20/8/1975	Titán 3/Centauro	Primeras imágenes desde las cercanías de Venus
VIKING 2	(EEUU)	9/9/1975	Titán 3/Centauro	Órbita alrededor de Marte y primer aterrizaje en Marte
VOYAGER 2	(EEUU)	20/8/1977	Titán 3/Centauro	Sobrevuelo de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno
VOYAGER 1	(EEUU)	5/9/1977	Titán 3/Centauro	Órbita alrededor de Marte y aterrizaje; sobrevuelo de Júpiter y Saturno; volcanes en Ío, anillo de Júpiter
VENERA 14	(URSS)	4/11/1981	D-1-e	Sobrevuelo de Venus; análisis del suelo del planeta
GIOTTO	(Europa)	2/7/1986	Ariane 1	Primer encuentro con el cometa Halley
MAGELLAN	(EEUU)	4/5/1989	Atlantis	Órbita alrededor de Venus y cartografía de su superficie

A la izquierda, imagen en mosaico de Venus, compuesta gracias a los datos radar facilitados por la sonda Magellan y reconstruidos con colores artificiales. El radar de apertura sintética (SAR) de la Magellan utilizaba las ondas radar y la luz para recoger datos que luego eran transmitidos a la Tierra e interpretados por los ordenadores para dar una imagen realista de la superficie de Venus. La sonda Magellan fue lanzada por el transbordador Atlantis en mayo de 1989 para una misión de 15 meses. Las estructuras de Venus cartografiadas por la sonda Magellan tienen centenares de millones de años de edad y han permanecido inalteradas. Enormes cráteres antiguos de impacto y centenares de miles de volcanes extinguidos permanecen inmutables ante el paso de los siglos.

Arriba, la sonda espacial Magellan penetró en las capas de nubes permanentes de Venus y empleó los radares para cartografiar la superficie con detalle.

CONDICIONES EXTREMAS

También las condiciones ambientales en las proximidades y en la superficie del planeta a explorar han de evaluarse atentamente. Por ejemplo, para poder aterrizar con éxito en Venus, una sonda debe estar en condiciones de soportar temperaturas de 730 °C y una presión atmosférica entre 90 y 95 veces superior a la terrestre, aparte de nubes de ácido sulfúrico. A pesar de esto, la sonda rusa Venera 14, lanzada en 1981, consiguió tomar fotografías en colores del planeta, las únicas que se han podido obtener.

Muchas sondas no se posan en la superficie de los planetas, sino que los sobrevuelan haciendo fotografías y recogiendo otros datos durante el vuelo.

CADA VEZ MÁS LEJOS

El Pioneer 10, una de las primeras sondas enviadas a Júpiter, es el objeto construido por el hombre que más se ha alejado de la Tierra: ha llegado a una distancia de casi 10.000 millones de kilómetros. El objetivo de esta sonda, lanzada en 1972, y diseñada para tener una vida útil de 21 meses, era el estudio y el análisis de Júpiter; pero después de más de 23 años, y aunque ahora su fin ya está próximo, todavía continúa en contacto con la Tierra y está efectuando importantes mediciones en la heliopausa, la región del espacio situada en los límites entre el sistema solar y el espacio interestelar.

Otros dos veteranos exploradores del sistema solar, los Voyager 1 y 2 estadounidenses, fueron lanzados en 1977. Estas dos sondas, pasados 19 años de su lanzamiento, se encuentran camino de alejarse del sistema solar y han proporcionado a los centros de control centenares de miles de imágenes sorprendentes y espectaculares de los planetas exteriores. Además, continúan recogiendo datos y efectuando observaciones incluso en las regiones exteriores de nuestro sistema solar.

Durante los años noventa, dos misiones se han apuntado un éxito espectacular: la misión Clementine a la Luna y la misión Magellan hacia Venus.

LA MISIÓN CLEMENTINE

Clementine fue concebida para estudiar la superficie de un asteroide próximo a la Tierra, pero luego la misión se amplió para que pudiera cartografiar la superficie lunar. La sonda Clementine pesaba solamente 450 kg, pero estaba equipada con algunos de los instrumentos más avanzados jamás instalados en una sonda.

Colocada en una órbita especial alrededor de la Luna, consiguió cartografiar regiones que nunca se habían visto anteriormente. En un período de 71 días tomó más de un millón de imágenes en el visible y en el infrarrojo. Gracias a la observación de la Luna en diversas longitudes de onda, se identificaron las variaciones de la composición mineralógica de su superficie.

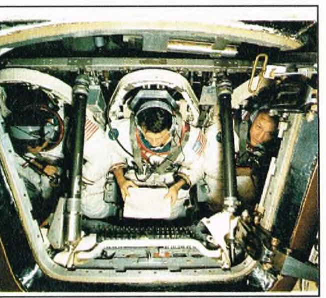
Pero, desafortunadamente, el objetivo de la misión no se consiguió: una anomalía en el ordenador de a bordo, que puso la sonda en rotación alrededor de su propio eje, obligó a abandonarla, ya que no había conservado la cantidad de combustible suficiente para ir al encuentro del asteroide.

LA SONDA MAGELLAN

Lanzada al espacio por el transbordador espacial en mayo de 1989, la sonda Magellan fue enviada a una órbita polar alrededor de Venus. Sus objetivos eran la cartografía del planeta y la medición de las emisiones térmicas. Los datos recogidos fueron de importancia trascendental para los científicos, interesados en resolver el problema de por qué la Tierra y Venus evolucionaron de forma tan distinta. Al final de la misión, la sonda Magellan se estrelló en la superficie de Venus.

EXPERIMENTOS EN ÓRBITA CON LA MICROGRAVEDAD

La falta de peso, una experiencia excepcional para el hombre que viaja por el espacio, es también una condición física importante para la investigación científica y tecnológica.



Los astronautas del Skylab IV, en la estación espacial. Con estas misiones, se inició la investigación sobre la microgravedad.



Uno de los fenómenos más extraordinarios que el hombre puede experimentar en el espacio es la falta casi absoluta de gravedad. Se dice «casi absoluta» porque el simple hecho de que un objeto cualquiera produzca a su alrededor un campo gravitatorio hace que obtener una ausencia total de gravedad sea casi imposible, a menos de encontrarse completamente aislado en el espacio. Por tanto, incluso a centenares de kilómetros de la Tierra, la altura en la cual se colocan las estaciones espaciales o las plataformas habitadas, la mera existencia de una cápsula espacial o de más de una estación espacial hace que deba contarse con una pequeña fuerza de la gravedad. Esta fuerza se denomina microgravedad y corresponde a una fuerza gravitatoria pequeña, centenares de miles de veces inferior a la que hay sobre la Tierra. Sin embargo, esta particularidad permite estudiar fenómenos físicos, químicos y biológicos en condiciones únicas. Precisamente para obtenerla, se han construido torres desde las cuales se lanzan microcápsulas, aviones, cohetes, laboratorios espaciales y plataformas no habitadas.

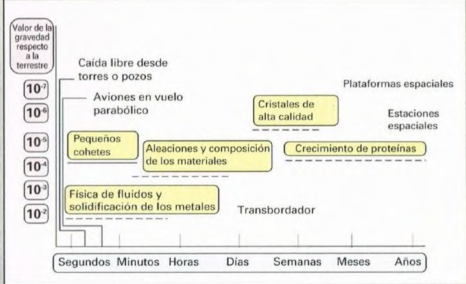
¿CÓMO SE CONSIGUE LA INGRAVIDEZ?

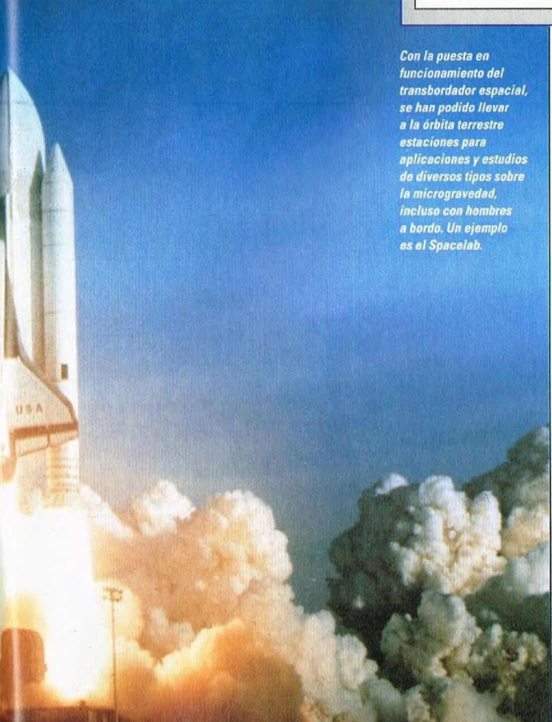
Hay diversas maneras de conseguir un ambiente de microgravedad durante intervalos de tiempo que varían entre pocos segundos y meses, incluso años. Un primer sistema consiste en utilizar torres muy altas o pozos muy profundos desde los cuales se hacen caer objetos en caída libre. Bajo estas condiciones, parecidas a las que se dan en los sistemas de los que se hablará más adelante, los objetos contenidos en una cápsula no están sometidos a más fuerza que la de la gravedad terrestre. Por este motivo, entre las partes que configuran el experimento no hay fuerzas relativas, como las que existen en la Tierra y, por tanto, los objetos en «caída libre» pueden experimentar la sensación de ingravidez. Con el uso de torres o pozos, llamados técnicamente *Drop Tower* y *Drop Shaft*, puede experimentarse durante algunos segundos la ausencia de la gravedad. En cambio, con un avión en vuelo parabólico, pueden obtenerse aproximadamente 30 segundos de falta casi total de peso. Estos vuelos se utilizan para ciertos tipos de experimentos, pero sobre todo para verificar los

aparatos que más tarde habrán de utilizarse en vuelos de mayor duración. Por otra parte, los cohetes sonda permiten normalmente obtener entre seis y siete minutos de microgravedad. Se han hecho centenares de vuelos con estos cohetes, con los que se han podido realizar, por lo menos, otros tantos experimentos. La Agencia Espacial Europea está proyectando el cohete MAXUS, que estará en condiciones de llegar a 900 km de altura, y durante su vuelo se podrá disponer de unos 15 minutos de ambiente de microgravedad. El Spacelab, situado en órbita por un transbordador, puede permanecer en el espacio de 10 a 15 días; por esto ofrece posibilidades muy diferentes. El primer Spacelab voló por primera vez en noviembre de 1983, y a bordo se efectuaron 51 experimentos. Con plataformas recuperables colocadas en el espacio por cohetes o transbordadores espaciales es posible conseguir ambientes de microgravedad que pueden durar meses, incluso años. Un ejemplo ha sido la plataforma europea EUREKA. Finalmente, en estaciones espaciales como la MIR o la ALPHA, los experimentos pueden prolongarse durante todo el tiempo que necesitan las investigaciones. El único problema que presentan las plataformas recuperables es la presencia del hombre, que, más que cualquier otro elemento, crea perturbaciones en el ambiente, y éstas pueden influir en las investigaciones si lo que se desea son valores de microgravedad del orden de centenares de miles o de millones de veces inferiores respecto a los que existen en la Tierra.

EXPERIMENTOS Y MICROGRAVEDAD

No todos los sistemas capaces de crear las condiciones apropiadas de microgravedad pueden utilizarse del mismo modo en el estudio de los diversos campos científicos. El gráfico que sigue permite comprender qué método puede emplearse mejor en algunas de las investigaciones más importantes.



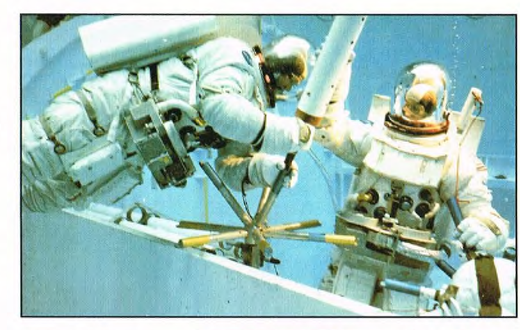


Con la puesta en funcionamiento del transbordador espacial, se han podido llevar a la órbita terrestre estaciones para aplicaciones y estudios de diversos tipos sobre la microgravedad, incluso con hombres a bordo. Un ejemplo es el Spacelab.

UN POCO DE HISTORIA

Desde mediados del siglo XX, la gravedad ha influido en gran manera en la investigación tecnológica. Sin embargo, y a pesar de los métodos más diversos que únicamente han podido ser probados con el advenimiento de los cohetes, ha sido posible efectuar estudios en ausencia de la gravedad, o caída libre, de cierta duración. Con las misiones Mercury y Gemini se superaron las primeras dificultades técnicas al concretarse algunos experimentos, pero fue con las misiones Apolo cuando las investigaciones intentaron dar una respuesta científica a las preguntas que desde mucho antes se hacían los científicos. Luego, con el Skylab, la primera estación espacial estadounidense, con las misiones de larga duración de la Salyut y de la MIR, y también con las misiones del Spacelab a bordo de los transbordadores, que han permitido la puesta en órbita de plataformas expresamente construidas –por ejemplo, EUREKA–, la microgravedad ha tenido un papel importantísimo en las investigaciones espaciales. Hoy, los programas de investigación se centran principalmente en la biotecnología, la física de los fluidos, la ciencia y combustión de los materiales, y el comportamiento de los seres vivos. Sin embargo, los programas están abiertos a otras muchas ciencias de base que, para su estudio, requieren un ambiente de microgravedad. Los estudios efectuados hasta ahora han confirmado

las grandes posibilidades de investigación científica en ambiente de microgravedad. Por ejemplo, metales de diferente peso atómico han podido fundirse fácilmente para dar lugar a aleaciones de diferente composición. En la Tierra, los metales más pesados, antes de solidificarse, se depositan en el fondo de los recipientes. También ocurre que, en la Tierra, muchos materiales sólo pueden separarse unos de otros con sistemas muy costosos y lentos, dificultad que puede obviarse en ausencia de gravedad. Por otra parte, ya se ha demostrado que en el espacio es posible producir aleaciones y semiconductores de gran uniformidad interna, una cualidad extraordinariamente importante para el uso de tales materiales. También se ha comprobado que muchos cristales pueden crecer con una estructura molecular perfecta, observable con detalle mediante rayos X.

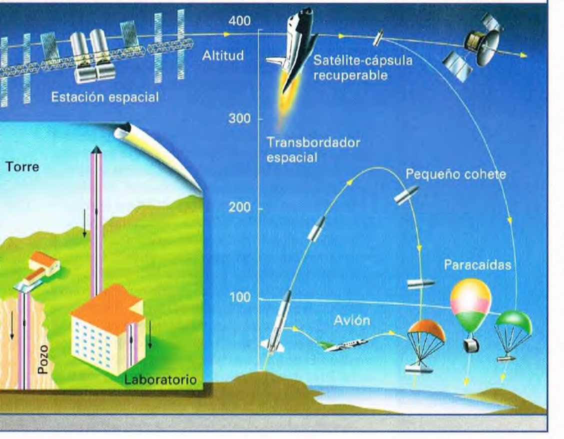


EUREKA: LA PLATAFORMA IDEAL PARA LA MICROGRAVEDAD

El programa EUREKA nació oficialmente el 15 de abril de 1982 con dos objetivos: crear unas condiciones de microgravedad mejores que las que se habían obtenido a bordo de los laboratorios instalados en los transbordadores y ofrecer la posibilidad de efectuar experimentos no ya durante un período de algunos días, sino durante varios meses. Para estos fines, la plataforma autónoma orbital y recuperable apareció como la única solución. Completamente automática y de dimensiones inferiores al transbordador espacial o a las estaciones orbitales habitadas, EUREKA no estaba sometida a las perturbaciones ocasionadas por la actividad humana ni a las limitaciones dinámicas en órbita, típicas de las estructuras de grandes dimensiones. EUREKA se concibió para garantizar unas condiciones óptimas de microgravedad por

Arriba, sólo trabajando dentro de grandes piscinas los astronautas pueden simular condiciones parecidas a las que se presentan en ausencia de gravedad.
A la derecha, dos astronautas protagonistas del 34º vuelo del transbordador estadounidense intentan mantener en equilibrio las bandejas que contienen su comida espacial, que será consumida en la zona de cocina del vehículo.





A la izquierda, hay diversos modos de crear la ingravidez: en «caída libre» de pequeñas cápsulas desde torres altas o pozos profundos; en vuelo parabólico de aviones o cápsulas colocadas en órbita por cohetes; en plataformas que giran alrededor de la Tierra durante largos períodos; en los laboratorios instalados en cápsulas espaciales; y en las grandes estaciones espaciales orbitantes.

cuanto que, en los experimentos, ésta no superaba los 10^{-15} *g* (*g*: aceleración de la gravedad terrestre), y en algunos puntos de la plataforma el valor descendía directamente a 10^{-17} *g*. Financiado por nueve países de la Agencia Espacial Europea, EUREKA fue puesto en órbita alrededor de la Tierra por un transbordador en agosto de 1992 y devuelta a tierra el 1 de julio de 1993. En el momento de la puesta en órbita era el satélite más pesado jamás construido en Europa, con una masa de 4,5 toneladas.

En la primera misión, EUREKA llevaba a bordo 15 aparatos que permitieron la realización de más de 50 experimentos. En el campo de la síntesis de los materiales, se intentó realizar monocristales puros.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

LOS ASTEROIDES

ESTRELLAS Y GALAXIAS

EL CATÁLOGO DE MESSIER

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

GÉMINIS

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LA PRESIÓN

EL USO DEL ESPACIO

AQUÍ LA BASE LUNAR

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO



9 788439 554219 20012

$ 3,90

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

LOS ASTEROIDES



Además del Sol y los planetas, en el sistema solar existen otros cuerpos menores. Se trata de los asteroides, que se encuentran a caballo entre las órbitas de Marte y Júpiter. Aunque su reducido tamaño no permite clasificarlos como auténticos planetas, los asteroides son algo más que guijarros espaciales.



Los asteroides son cuerpos de tipo rocoso que, como los planetas, orbitan en torno al Sol. Aunque sus características son similares a las de los cuerpos mayores del sistema solar, su tamaño es demasiado pequeño para que podamos clasificarlos a todos los efectos como planetas. Por ello, esos cuerpos también se conocen como planetas menores. En virtud de su menor tamaño, además, los asteroides poseen una gravedad reducida y, por consiguiente, no están en condiciones de retener átomos y moléculas de gas como lo hacen los demás planetas. Por este motivo, dichos cuerpos están completamente desprovistos de atmósfera.

LOS ASTEROIDES DEL SISTEMA SOLAR

Los asteroides conocidos tienen tamaños muy variables. Los de grandes dimensiones poseen diámetros superiores a los 250 km. En total, hay una quincena de ellos y representan una mínima parte del total. El mayor es Ceres, con un diámetro de unos 930 km. Por este motivo fue el primer asteroide descubierto (1801). Los asteroides más pequeños tienen tamaños de hasta pocos centímetros y son poco menos que guijarros.

La mayor parte de los asteroides, probablemente decenas de miles, se concentran en una región del sistema solar situada entre las órbitas de Marte y de Júpiter a una distancia de unas 2 u.a. del Sol. Se disponen formando una franja conocida como cinturón de asteroides cuyo espesor varía entre 100 y 300 millones de kilómetros sin formar, sin embargo, una estructura continua.

Las distancias medias entre asteroides, en efecto, son considerables. Así lo han demostrado

Una sugestiva representación pictórica en la que se ven asteroides de diferentes formas y tamaños que orbitan en el cielo estrellado.



Arriba, cuatro imágenes del asteroide* Toutatis, *obtenidas entre el 8 y el 10 de diciembre de 1992, en las que se advierte con claridad la rotación del cuerpo respecto a la Tierra.

las imágenes transmitidas por las sondas interplanetarias que han atravesado el cinturón, como la sonda Galileo. En ciertas zonas del cinturón, las llamadas Lagunas de Kirkwood, la densidad numérica de asteroides disminuye sensiblemente debido a la influencia gravitacional de Júpiter. Según algunas teorías, los asteroides podrían ser restos de un supuesto planeta primordial que habría orbitado alrededor de Marte y Júpiter y habría sido destruido hace cientos de millones de años por una gigantesca colisión, tal vez con un cometa de paso.

UN ORIGEN ANTIGUO

Las teorías más acreditadas, en cambio, suponen que los asteroides son lo que queda de la materia primordial que, hace unos 5.000 millones de años, habría dado origen a los planetas del sistema solar. El intenso campo gravitacional de Júpiter habría impedido que estos restos se agregaran para formar un único planeta. De haber sucedido así, el planeta resultante hubiese sido de un tamaño tan grande como la mitad de la Luna. Esto no excluye, de todas formas, que algunos asteroides puedan ser el resultado de la fragmentación de cuerpos mayores. Precisamente porque se trata de cuerpos antiguos, el estudio de su composición química es importante para determinar la composición del sistema solar en sus orígenes.

Como todos los cuerpos del sistema solar, los asteroides del cinturón giran alrededor del Sol de acuerdo con las leyes de Kepler y siguen, por lo tanto, órbitas ligeramente elípticas y, en el mayor número de los casos, estables. El movimiento de revolución se produce en el mismo sentido que el de la Tierra. Por término medio, los asteroides tardan entre 3 y 6 años en completar una revolución.

TRES FAMILIAS

Nuestros conocimientos actuales de los asteroides derivan esencialmente de las observaciones realizadas con los telescopios terrestres y, en tiempos más recientes, de los datos transmitidos por la sonda espacial Galileo durante su travesía del cinturón en el transcurso de su viaje hacia Júpiter. Además, se han obtenido importantes informaciones del análisis químico de algunas muestras de rocas caídas a la Tierra y procedentes de colisiones entre asteroides.

Los datos recogidos hasta el momento han permitido detectar algunas diferencias intrínsecas entre los varios asteroides conocidos y clasificarlos en tres familias distintas. Los criterios de clasificación atienden básicamente a sus principales características morfológicas y a su composición química.

CARENTES DE LUZ PROPIA

La morfología de un asteroide suele deducirse del estudio de la variación de luminosidad en el curso de la rotación sobre sí mismo. En efecto, los asteroides, como todos los cuerpos de tipo planetario, no emiten luz propia, sino que son visibles porque reflejan la luz solar. Al girar sobre sí mismos, muestran al Sol partes distintas de su superficie; como son cuerpos de forma irregular, la cantidad de luz que reflejan varía. Naturalmente, los cuerpos con una

En la imagen inferior, posición de los asteroides en el sistema solar. La mayoría están concentrados en el llamado cinturón de asteroides, entre las órbitas de Marte y Júpiter, a una distancia del Sol de unas 2 u.a. Algunos asteroides no pertenecen al cinturón y siguen órbitas similares a las de los cometas.

Mercurio
Sol
Tierra
Júpiter

superficie más irregular reflejan la luz en grado menor que los cuerpos esféricos y son menos luminosos. El poder de reflexión de un planeta, como sabemos, se denomina albedo.

Analizando espectroscópicamente la luz reflejada por el asteroide se puede determinar su composición química. Muchos de nuestros conocimientos al respecto derivan, sin embargo, de los estudios directos de algunos fragmentos caídos sobre la Tierra.

DATOS	DISTANCIA AL SOL (UNIDADES ASTRONÓMICAS)	PERÍODO DE REVOLUCIÓN EN AÑOS	EXCENTRICIDAD	PERÍODO DE ROTACIÓN EN HORAS	DIÁMETRO EN KM
CERES	2,77	4,60	0,08	9,1	930
PALAS	2,77	4,61	0,239	10,1	552
JUNO	2,67	4,36	0,257	7,2	242
VESTA	2,36	3,63	0,089	10,6	521
EROS	1,46	1,76	0,223	5,27	14
ÍCARO	1,08	1,12	0,827	2,27	1,4
APOLO	1,49	1,81	0,566	–	1
IGEA	3,15	5,60	0,100	18	419
PSIQUE	2,92	4,99	0,139	4,3	249

METEOROIDES Y METEORITOS

Los fragmentos de asteroides que van a chocar con la Tierra se llaman también meteoroides.

Cuando un meteoroide entra en la atmósfera terrestre a elevada velocidad, el rozamiento genera un intenso calor que lo reduce a polvo, produciendo una estela de luz en el cielo. En tal caso, se habla de meteoros. Si el meteoroide no se quema completamente al atravesar la atmósfera terrestre, el fragmento superviviente puede llegar a golpear la Tierra. En tal caso, se habla, en cambio, de meteorito.

De todos los meteoritos caídos sobre nuestro planeta, cerca del 95% están formados por silicatos, mientras que el 6% constan de hierro y níquel. Algunos meteoritos, de tipo rocoso, son los más difíciles de identificar porque su composición química es muy similar a la de las rocas terrestres y se confunden con ellas muy fácilmente.

ASTEROIDES ERRANTES

No todos los asteroides están concentrados en el cinturón. Algunos gravitan en torno al Sol en la misma órbita que Júpiter y están concentrados en dos grupos distintos que preceden o siguen, respectivamente, el planeta a unos 60 grados.

Se trata de los asteroides troyanos, así llamados porque se les ha atribuido nombres de héroes de la guerra de Troya. Otros, como Hidalgo, fueron expulsados del cinturón de resultas de colisiones múltiples con otros asteroides y de la influencia gravitacional de Júpiter. Estos asteroides son representativos de los diversos tipos presentes en el cinturón;

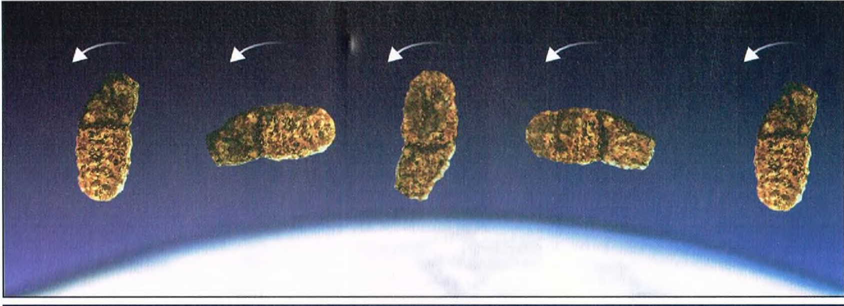
Venus

Marte

Cinturón de asteroides



A la derecha, parte del meteorito de Orgueil, caído en el sur de Francia en 1864, uno de los más notables fragmentos recogidos. Abajo, el mayor fragmento del meteorito Holbrook, que cayó en 1912 en Arizona.





Su órbita la recorren en un tiempo del orden de los 20 años debido a continuas colisiones con otros asteroides y a interacciones gravitacionales con los planetas vecinos. Siguen, además, unas órbitas muy excéntricas, muy similares a las de los cometas. En algunos casos, estas órbitas les llevan a una distancia mínima del Sol del orden de 1,3 u.a. y, por lo tanto, a distancias próximas a nuestro planeta. Algunos de estos asteroides se limitan a atravesar la órbita de Marte, pero orbitan al exterior de la órbita terrestre. Otros, en cambio, pueden cortar la órbita de la Tierra varias veces al año. Es el caso, respectivamente, de los asteroides Eros y Apolo. Se han identificado unos 250 asteroides con órbitas que podrían cortar la de la Tierra. Se sospecha, de todos modos, que éstos constituyen una mínima parte del total y que existen al menos otros mil cuyas órbitas no son todavía conocidas. Según ciertas estimaciones, la mayor parte de estos asteroides podrían tener un diámetro superior al kilómetro. El mayor se llama Ganimedes 1036 y tiene un diámetro de unos 40 kilómetros.

La probabilidad de que un asteroide pueda interceptar la Tierra en una fase de su órbita es más bien baja, pero en absoluto desdeñable en el caso de cuerpos de gran tamaño. Los cráteres que todavía hoy se observan en algunas regiones de la Tierra demuestran que, en un pasado lejano, nuestro planeta sufrió el impacto de cuerpos celestes de notable tamaño. En particular, según una de las teorías más difundidas, la extinción de los dinosaurios fue debida al impacto sobre la superficie terrestre de un asteroide de al menos 10 km de diámetro acaecido hace 65 millones de años.

PORTADORES DE VIDA

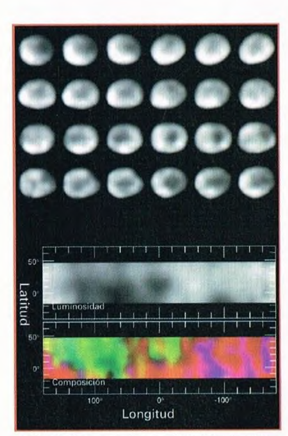
Para algunos estudiosos, los asteroides, en un pasado lejano, pudieron haber traído la vida a la Tierra. Según el astrónomo inglés Fred Hoyle, los asteroides habrían traído a la Tierra algunos microorganismos y sustancias orgánicas elementales a partir de los cuales se habría desarrollado luego toda la cadena biológica. Estas sustancias, al viajar por el espacio dentro de los asteroides, habrían quedado protegidas de los rayos UV del Sol hasta llegar a nuestro planeta.

Las dos imágenes representan la variación de luminosidad de un asteroide en función de su fase de rotación (curva de luz). Visto desde la Tierra, el asteroide aparece más luminoso en la fase de la rotación cuando muestra una mayor superficie.

LA FASCINANTE VESTA

Uno de los asteroides que con mayor interés estudian los planetólogos es, seguramente, Vesta. Se trata de un cuerpo celeste de unos 500 km de diámetro, por lo que es más parecido a un pequeño planeta que a un simple asteroide. Vesta ha sido observada recientemente por el telescopio espacial Hubble.

Las imágenes tomadas por la cámara planetaria del Hubble nos han suministrado la visión hasta ahora más detallada de la superficie de un asteroide. Con anterioridad, las mejores imágenes disponibles de estos cuerpos eran las de los asteroides Gaspra e Ida, tomadas por las cámaras montadas a bordo de la sonda interplanetaria Galileo, respectivamente en octubre de 1991 y agosto



Arriba, imágenes de la superficie del asteroide Vesta que corresponden a distintas fases de su período de rotación. Tomadas por la cámara planetaria del telescopio espacial Hubble, muestran la alternancia de superficies claras y oscuras que indican una diferente composición química.

de 1993, en el curso de su viaje hacia Júpiter. Los datos del Hubble ponen de manifiesto que Vesta posee una estructura geológica distinta a la de la mayoría de los asteroides y muy parecida a la de los llamados planetas terrestres como la Tierra y Marte. Por ello, para algunos planetólogos Vesta es, en realidad, el quinto planeta terrestre del sistema solar. Vesta, como todos los asteroides, carece de atmósfera. Por ello, ha sufrido en el curso de los años intensos bombardeos de meteoritos que han excavado su superficie poniendo al descubierto los estratos inferiores.

Estudiando las características espectroscópicas es posible indagar la composición química de Vesta y recorrer todas las etapas de su evolución. Los resultados de estas investigaciones podrían suministrar útiles informaciones no sólo sobre los asteroides sino también sobre la composición interna de los planetas rocosos. En particular, las imágenes de alta resolución del Hubble han permitido distinguir en la superficie detalles de 70 km de tamaño. Se ha logrado descubrir así que la superficie de Vesta muestra una alternancia de regiones claras y oscuras, como en el caso de la Luna, lo cual podría indicar que la composición química de su superficie no es uniforme.

Los espectros de Vesta tomados con los telescopios terrestres han revelado que las regiones más oscuras están formadas esencialmente de materiales basálticos que fluyen por la superficie en forma de lava. Esto podría indicar que en el pasado el interior de Vesta se encontraba en estado de fusión, como el núcleo de la Tierra.

El resultado parece contradecir las ideas tradicionales según las cuales los asteroides serían cuerpos sustancialmente fríos, simples fragmentos de rocas, residuos de la formación planetaria. Una de las posibles explicaciones es que Vesta se ha formado por aglomeración de rocas más pequeñas. Entre estas rocas había algunos materiales radiactivos, como el aluminio 26, que en una segunda fase fueron incorporados al núcleo. El calor liberado al desintegrarse este isótopo radiactivo pudo haber causado la fusión del núcleo y provocar la redistribución de los distintos componentes en función de su densidad. Las rocas más densas habrían quedado confinadas en el núcleo,

Abajo, un recorrido imaginario por el cinturón de asteroides, que aquí vemos reconstruido en un dibujo. Según los científicos del Jet Propulsion Laboratory de la NASA, sería un modo de «hurgar en la basura del cosmos».

mientras que las más ligeras habrían ascendido hasta la superficie.

Después de la formación de Vesta, hace unos 4.000 millones de años, las rocas fundidas corrieron sobre su superficie, que ha permanecido inalterada hasta la época actual, salvo efectos provocados por eventuales colisiones con meteoritos. Algunos fragmentos del asteroide Vesta, arrojados al espacio por estas colisiones, habrían caído sobre la Tierra y serían algunos meteoritos que se precipitaron en 1960 en Australia occidental.

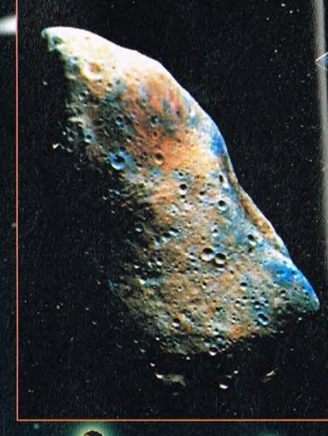
La asociación con el asteroide de los fragmentos hallados ha sido confirmada posteriormente comparando las respectivas composiciones químicas. Vesta sería, pues, el tercer cuerpo del sistema solar, después de la Luna y Marte, del que tenemos muestras superficiales.

LA SONDA NEAR

Una de las más recientes misiones de la NASA ha estado dedicada precisamente al estudio próximo de los asteroides en las cercanías de nuestro planeta. Se trata de la sonda llamada NEAR (Near Earth Asteroid Rendezvous), lanzada el 17 de febrero de 1996. La sonda va equipada con algunos espectrógrafos, una cámara para tomar imágenes en el infrarrojo, un altímetro de rayos láser y un instrumento que mide campos magnéticos.

Los planes de la NASA prevén que NEAR sea el prototipo de una serie de sondas del mismo tipo que deberán lanzarse en los próximos tres años. Uno de los últimos objetivos de la misión NEAR será el encuentro con Eros, un asteroide de tipo S de más de una decena de kilómetros de diámetro. El encuentro está programado para febrero de 1999.

En la imagen a toda página, parte del cinturón de asteroides, situado más allá de la órbita de Marte, donde se encuentran la mayoría de estos objetos celestes.





Una GIF, o imagen de alta resolución Goldstone, de Toutatis, *tomada en 1995.*



UN ENCUENTRO ESPECIAL

La misión NEAR, que se inició con el lanzamiento en febrero de 1996, está dirigida para la NASA por la John Hopkins University. Debería culminar con el encuentro entre la sonda y el asteroide Eros a una distancia mínima de 24 km. En la imagen de la izquierda, reconstrucción gráfica del encuentro entre un vehículo espacial y un asteroide.



CLASIFICACIÓN DE LOS ASTEROIDES

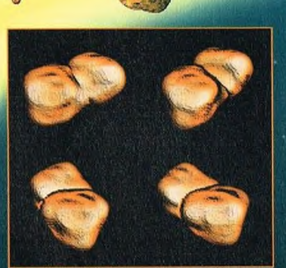
Albedo es un término utilizado en astronomía para indicar la capacidad de un cuerpo celeste para reflejar la luz. En función de esta capacidad, al cuerpo se le asigna un coeficiente que varía entre 0 y 1. Así, a un cuerpo blanco perfectamente reflector le corresponde un albedo de 1, mientras que a un cuerpo negro, que absorbe toda la luz incidente, se le atribuye un albedo de 0. Siguiendo esta clasificación, la mayor parte de los asteroides puede subdividirse en tres categorías principales:

a) asteroides carbonáceos (o de tipo C);
b) asteroides silíceos (o de tipo S);
c) asteroides metálicos (o de tipo M).

Los asteroides de tipo C constituyen la mayor parte (cerca del 75%) de los conocidos. Están sobre todo localizados en las regiones más externas del cinturón de asteroides. De las distintas familias de asteroides, éstos son los menos luminosos, ya que su albedo está comprendido entre 0,03 y 0,09. Su composición química es razonablemente similar a la del sistema solar y carecen de hidrógeno, helio y otros elementos volátiles.

Los asteroides de tipo S constituyen la mayor parte de los asteroides restantes (cerca del 17%), pueblan la región más externa del cinturón y son relativamente más brillantes que los de tipo C, con un albedo que varía entre 0,10 y 0,22. Químicamente, están formados por minerales ferrosos mezclados con silicatos de magnesio.

Los asteroides de tipo M, por último, incluyen todos los tipos restantes. Se encuentran en la región más central del cinturón y están compuestos, básicamente, de minerales ferrosos. Su luminosidad es comparable a la de los asteroides de tipo S (albedo: 0,1).



Cuatro imágenes del asteroide Castalia, descubierto por Eleanor F. Helin en 1989, obtenidas con el telescopio radar/radio de Arecibo y luego tratadas con ordenador. La forma bilobulada es característica de Castalia.

EL CATÁLOGO DE MESSIER

El catálogo de Messier, compilado por el astrónomo homónimo del siglo XVIII, es el más famoso elenco de objetos astronómicos no estelares, cúmulos, nebulosas y galaxias.

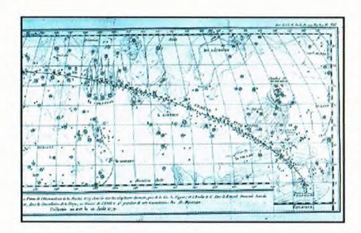


Charles Messier, astrónomo francés, compiló su catálogo hacia fines del siglo XVIII para que otros astrónomos, interesados por el mismo campo de estudio que él, no tomasen por cometas otros objetos presentes en el cielo, como cúmulos estelares, nebulosas y galaxias. Este catálogo reviste todavía una cierta importancia por razones históricas y también como objeto de consulta, sobre todo para los aficionados. En efecto, los objetos que contiene pueden ser localizados incluso con instrumentos no profesionales.

El autor del catálogo fue uno de los más célebres cazadores de cometas. El año 1758, fundamental para Messier, fue también el año en que debía regresar el cometa estudiado por Edmund Halley de acuerdo con lo que entonces era sólo una hipótesis científica. El astrónomo militar Joseph Nicolas de l'Isle calculó la posición esperada del cometa y Messier empezó a observarlo en 1757. Un error en los cálculos del maestro indujo a Charles a observar noches enteras el cielo en una dirección equivocada, anotando sin embargo en su cuaderno la posición del compañero de Andrómeda y de una nebulosidad parecida a un cometa, pero inmóvil en el cielo en la dirección de la constelación de Tauro: aquel objeto sería el número 1 de su catálogo.

Más tarde, Messier encontró el cometa, pero su descubrimiento no fue publicado. De todos modos, su carrera de buscador de cometas había comenzado y, una vez fuera del círculo de l'Isle, desde 1760 hasta su muerte, acaecida en 1817, observó 19 cometas, 13 de los cuales nunca habían sido observados antes y que todavía llevan su nombre. El catálogo de objetos nebulosos realizado para disponer de una referencia para la exacta localización de los cometas fue elaborado gradualmente, primero por Messier en solitario y después ayudado por su colega Pierre Mechain, que en 1780 pasó a trabajar con él.

La observación astronómica era una auténtica obsesión para Messier, que por ella relegaba a un segundo plano incluso los asuntos familiares; no obstante, esta habilidad en la observación no se correspondía con una mente científica de nivel comparable. A pesar de todo, dejó como herencia a astrónomos profesionales y aficionados un catálogo que todavía hoy contiene los objetos más bellos del cielo boreal.



A la izquierda, una página autógrafa de Messier, donde se han trazado algunas constelaciones (de Hércules al Boyero, de la Cabellera de Berenice a Virgo) y algunos objetos celestes con el año de la observación y del descubrimiento.



Arriba, el colofón del manuscrito, con las iniciales del autor.

LOS OBJETOS PERDIDOS

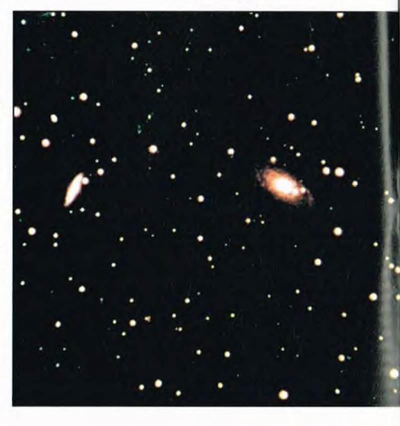
El método y la extrema precisión distinguían a Messier de los demás astrónomos de la época. Sus cálculos sobre la posición de los objetos eran tan exactos que todavía hoy podemos encontrarlos con certeza absoluta (salvo quizá M102). Pero no cometer ningún error es extremadamente difícil en un campo como el de la astrometría, especialmente en una época de cálculos con papel y pluma. Cuatro objetos permanecieron durante un siglo como incógnitas no resueltas en las cartas de los astrónomos franceses.

M47 es un cúmulo estelar, cuya posición había sido calculada a partir de la estrella de sexta magnitud 2 Navis, como lo había sido antes el objeto M46. Un banal error de signo en la ascensión recta había llevado a Messier a señalar una posición errónea. Sólo en 1959 el astrónomo canadiense T.F. Morris se percató del error, dando así la razón a Oswald Thomas, que había identificado por casualidad el objeto con un cúmulo en la posición correcta.

M48 fue hallado también por el canadiense T.F. Morris en 1959. Este cúmulo estelar, identificado hoy como NGC 2548, se encuentra exactamente a 5º de declinación más al sur de lo que indicaba el catálogo original.

M91 es una galaxia del cúmulo de Virgo. Su descubrimiento fue mucho más difícil. El aficionado tejano William Williams advirtió en 1969 que Messier había medido su posición con respecto a M89, recién descubierto, pero al anotar los datos finales creyó haber utilizado el objeto M58. Muchos habían sostenido que M91 era realmente un cometa que había engañado al cazador

En la imagen fotográfica de abajo, la porción de cielo comprendida entre los objetos M81 y M82 del catálogo de Messier.



de cometas, pero hoy M91 es reconocido como la galaxia NGC 4548.

M102 permanece como un asunto controvertido. Podría ser un duplicado de M101 (como sostenía Mechain en una carta a Bernoulli dos años después del descubrimiento) o bien un error de 5° de ascensión recta. En esta posición se encuentra NGC 5866, cuyo aspecto recuerda la descripción del propio Mechain durante una observación. La medida de 5° era la de la red de coordenadas de las cartas utilizadas por Messier. Por ello, pudo haber sido una fuente común de errores durante la apresurada elaboración de los datos después de una noche de observación.

LOS OBJETOS AÑADIDOS

El catálogo final de Charles Messier fue publicado en la *Connaissance des Temps* en 1784 y contenía 103 objetos. El astrónomo y su colega Pierre Mechain hallaron otros objetos en los años siguientes, pero no los publicaron. Un siglo más tarde algunos astrónomos decidieron incluir tales objetos en la lista, llegando así a los 110 objetos del catálogo de Messier. He aquí una breve reseña de ellos.

M104 fue descubierto por Mechain el 11 de mayo de 1781 e incluido en una nota escrita a mano por Messier en su copia personal del catálogo. Camille Flammarion lo añadió al catálogo de Messier en 1921.

M105, M106 y M107 son citados por Mechain en su carta a Bernoulli, la misma en la que atribuía a M102 una naturaleza de duplicado de M101. Desde un punto de vista cronológico, el cúmulo globular M107 fue el último objeto descubierto del catálogo de Messier.

M108 y M109 son citados por el propio Messier al informar del descubrimiento de M97, efectuado el 16 de febrero de 1781. Owen Gingerich lo incluyó por primera vez en la compilación de 1960 del catálogo.

M110 fue añadido al catálogo por Kenneth Glyn Jones en el libro dedicado al tema publicado en 1960.

Ya estaba incluido en un dibujo de la nebulosa de Andrómeda realizado por Messier en 1773, donde aparecía también M32.

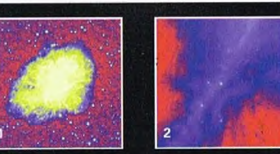
LA NEBULOSA DEL CANGREJO

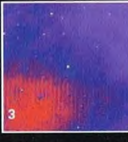
«Una nebulosa sobre el cuerno meridional de Tauro. No contiene estrellas; su luz es blanquecina y alargada como la llama de una vela; descubierta mientras observaba el cometa de 1758. Fue observada por el Dr. Bevis en 1731.»

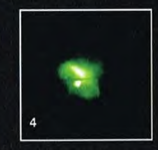
El 12 de setiembre de 1758, mientras buscaba en una dirección errónea el retorno del cometa Halley, Messier se encontró con la llamada nebulosa del Cangrejo.

La nebulosa es un objeto único en el catálogo de Messier; se trata de los restos de la explosión de una supernova sucedida en 1054, observable en todas las longitudes de onda y formada por muchísimos filamentos de gas iluminados por una estrella de neutrones que quedó en el lugar ocupado por la vieja estrella que estalló. Esta estrella tiene una densidad altísima, de millones de toneladas por centímetro cúbico, y gira sobre sí misma 30 veces por segundo.

La energía emitida en forma de campos magnéticos y partículas cargadas por esta estrella en rotación es tan elevada que su movimiento de rotación está menguando inexorablemente.





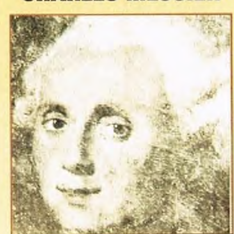


Las cuatro imágenes representan la nebulosa del Cangrejo a distintas longitudes de onda. Respectivamente: en la imagen 1, M1 (la nebulosa del Cangrejo) con colores falsos; en la 2, el mismo objeto con ondas de radio; en la 3, toma del satélite Iras con infrarrojos; en la 4, con rayos X.

Abajo, una sugestiva imagen de la nebulosa del Cangrejo, casualmente descubierta por Messier cuando buscaba el cometa Halley en una dirección errónea.

PERSONAJES

CHARLES MESSIER



1730 - 1817

Charles Messier nació en Badonviller (Lorena, Francia) el 26 de junio de 1730. Al ser el décimo de 12 hijos no tenía grandes posibilidades de realizar una carrera académica. La muerte de su padre, ocurrida cuando Charles tenía 11 años, empeoró sensiblemente las condiciones económicas de la familia. La llave para abrirle las puertas al mundo académico le vino de su bella grafía y de su habilidad para el dibujo. Fue contratado en calidad de copista por el astrónomo de la marina francesa Joseph Nicolas de l'Isle cuando tenía 21 años y ningún, o poco, conocimiento científico. Introducido gradualmente en la práctica de la astronomía de su tiempo, comenzó a llevar cuidadosos diarios de las observaciones y a medir la posición precisa de los objetos celestes. La meticulosidad fue la base de la fortuna de su futuro catálogo de objetos. Además, se adaptó bien a la moda del tiempo: el descubrimiento de cometas.



M1

Nebulosa planetaria
5h 31,5m +21° 59′
Dim. 6′x4′
Mag. 8,4
Nebulosa del Cangrejo, resto de supernova

M2

Cúmulo globular
21h 30,9m
-1° 3′
Diam. 12′
Mag. 6,3

M3

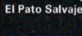
Cúmulo globular
13h 39,9m
+28° 38′
Diam. 6′
Mag. 6,4

M4

Cúmulo globular
16h 20,6m
-26° 24′
Diam. 20′
Mag. 6,4

M5

Cúmulo globular
15h 16m
+2° 16′
Diam. 20′
Mag. 6,2

M11

Cúmulo abierto
18h 48,4m
-6° 20′
Dim. 12′x30′
Mag. 6,3
El Pato Salvaje

M12

Cúmulo globular
16h 44,6m
-1° 52′
Diam. 9′
Mag. 6,6

M13

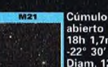
Cúmulo globular
16h 39,9m
+36° 33′
Diam. 23′
Mag. 5,7

M14

Cúmulo globular
17h 35m
-3° 13′
Diam. 6′
Mag. 7,7

M15

Cúmulo globular
21h 27,6m
+11° 57′
Diam. 12′
Mag. 6

M21

Cúmulo abierto
18h 1,7m
-22° 30′
Diam. 12′
Mag. 6,5

M22

Cúmulo globular
18h 33,3m
-23° 58′
Diam. 17′
Mag. 5,9

M23

Cúmulo abierto
17h 54m
-19° 01′
Diam. 35′
Mag. 6,9

M24

Cúmulo abierto
18h 15,5m
-18° 26′
Diam. 1.5°
Mag. 4,6
En su interior, el cúmulo abierto NGC6603

M25

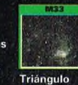
Cúmulo abierto
18h 28,8m
-19° 17′
Diam. 35′
Mag. 6,5

M31

Galaxia espiral
0h 40m
+41° 0′
Dim. 160′x40′
Mag. 4,8
La gran nebulosa de Andrómeda

M32

Galaxia elíptica
0h 40,0m
+40° 36′
Dim. 3′x2′ La más brillante de las dos compañeras de Andrómeda (M31)

M33

Galaxia espiral
1h 31,0m
+30° 24′
Dim. 55′x40′
Mag. 6,7
La nebulosa del Triángulo

M34

Cúmulo abierto
2h 38,8m
+42° 34′
Diam. 35′
Mag. 5,5

M35


Cúmulo abierto
6h 5,8m
+24° 21′
Diam. 30′
Mag. 5,3

M41

Cúmulo abierto
6h 44,9m
-20° 41′
Diam. 30′
Mag. 4,6

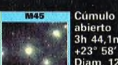
M42

Nebulosa gaseosa
5h 32,9m
-5° 25′
Dim. 66′x60′
Mag. 4
La Gran Nebulosa de Orión

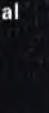
M43

Nebulosa gaseosa
5h 33,1m
-5° 18′.
Diam. 2′
Mag. 9

M44
Cúmulo abierto
8h 37,4m
+20° 00′
Diam. 70′
Mag. 3,7
El cúmulo de *Praesepe*

M45

Cúmulo abierto
3h 44,1m
+23° 58′
Diam. 120′
Mag. 1,6
Las Pléyades



M51

Galaxia espiral
13h 27,8m
+47° 27′
Dim. 12′x6′
Mag. 8,1
Famosa nebulosa espiral doble

M52
Cúmulo abierto
23h 22,0m
+61° 19′
Dim. 20′x12′
Mag. 7,3

M53

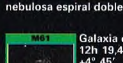
Cúmulo globular
13h 10,5m
+18° 26′
Diam. 10′
Mag. 7,6

M54

Cúmulo globular
18h 52,0m
-30° 32′
Diam. 6′
Mag. 7,3

M55

Cúmulo globular
19h 36,9m
-31° 3′
Diam. 15′
Mag. 7,6

M61

Galaxia espiral
12h 19,4m
+4° 45′
Diam. 6′
Mag. 9,6

M62

Cúmulo globular
16h 58,1m
-30° 3′
Diam. 6′
Mag. 6,6

M63

Galaxia espiral
13h 13,6m
+42° 18′
Dim. 10′x5′
Mag. 10,1

M64

Galaxia espiral
12h 54,3m
+21° 57′
Dim. 8′x5′
Mag. 6,6

M65

Galaxia espiral
11h 16,3m
+13° 22′
Dim. 8′x2′
Mag. 9,5

M71

Cúmulo globular
19h 51,5m
+18° 39′
Diam. 6′
Mag. 9,0

M72

Cúmulo globular
20h 50,7m
-12° 44′
Diam. 5′
Mag. 9,8

M73

Campo estelar
20h 56,4m
-12° 50′
Diam. 3′
4 estrellas de magnitud 9

M74

Galaxia espiral
1h 34,0m
+15° 32′
Diam. 8′
Mag. 10,2

M75

Cúmulo globular
20h 3,2m
-22° 4′
Diam. 5′
Mag. 8,0

M81

Galaxia espiral
9h 51,5m
+69° 18′
Dim. 16′x10′
Mag. 7,9

M82

Galaxia irregular
9h 51,9m
+69° 56′
Dim. 7′x1,5′
Mag. 8,8

M83

Galaxia espiral
13h 34,2m
-29° 37′
Dim. 8′x7′
Mag. 10,1

M84

Galaxia elíptica
12h 22,5m
+13° 10′
Diam. 2′
Mag. 9,3

M85

Galaxia elíptica
12h 22,9m
+18° 28′
Diam. 3′
Mag. 9,3

M91

Galaxia espiral
12h 35,4m
+14° 30′
Dim. 5,4′x4,4′
Mag. 9,5

M92

Cúmulo globular
17h 15,6m
+43° 12′
Diam. 10′
Mag. 6,1

M93

Cúmulo abierto
7h 42,4m
-23° 45′
Diam. 18′
Mag. 6,0

M94

Galaxia espiral
12h 48,5m
+41° 24′
Dim. 3′x2′
Mag. 7,9

M95

Galaxia espiral
10h 44m
+11° 42′
Dim. 4,4′x3,3′
Mag. 10,4

M101

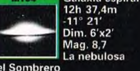
Galaxia espiral
14h 1,4m
+54° 35′
Dim. 10′x8′
Mag. 9,6

M102

Identificación incierta M101 o NGC5886

M103

Cúmulo abierto
1h 29,9m
+60° 27′
Dim. 12′x5′
Mag. 7,4

M104

Galaxia espiral
12h 37,4m
-11° 21′
Dim. 6′x2′
Mag. 8,7
La nebulosa del Sombrero

M105
Galaxia elíptica
10h 45,2m
+12° 51′
Mag. 9,2

Junto a la imagen de cada objeto se indican los siguientes datos: tipo de objeto, coordenadas (A.R. y decl.), diámetro o dimensiones, magnitud y, en ocasiones, el nombre.



Cúmulo abierto
17h 36,8m
-32° 11′
Diam. 25′
Mag. 5,3



Cúmulo abierto
17h 50,6m
Diam. 50′
Mag. 4,1



Nebulosa gaseosa
0.1m
-24° 23′
Dim. 90′x40′
Mag. 6
La nebulosa Laguna



Cúmulo globular
17h 16,2m
-18° 28′
Diam. 6′
Mag. 7,3



Cúmulo globular
16h 54,5m
-4° 2′
Diam. 8′
Mag. 6,7



Nebulosa gaseosa
18h 16m
-13° 48′
Diam. 8′
Mag. 6,4



Nebulosa gaseosa
18h 17,9m
-16° 12′
Dim. 46′x37′
Mag. 7
La nebulosa Omega



Cúmulo abierto
18h 17m
-17° 09′
Diam. 7′
Mag. 7,5



Cúmulo globular
16h 59,5m
-26° 11′
Diam. 5′
Mag. 6,6



Nebulosa gaseosa
17h 58,9m
-23° 02′
Dim. 29′x27
Mag. 9
La nebulosa Trífida



Cúmulo abierto
18h 42,6m
-9° 27′
Diam. 9′
Mag. 9,3



Nebulosa planetaria
19h 57,4m
+22° 35′
Dim. 8′x4′
Mag. 7,6
La nebulosa Dumbbell



Cúmulo globular
18h 21,5m
-24° 54′
Diam. 15′
Mag. 7,3



Cúmulo abierto
20h 22,1m
+ 38° 22′
Diam. 7′
Mag. 7,1



Cúmulo globular
21h 37,5m
-23° 25′
Diam. 9′
Mag. 8,4



Cúmulo abierto
5h 32m
+34° 7′
Diam. 20′
Mag. 6,3

Cúmulo abierto
5h 49,1m
+32° 32′
Diam. 25′
Mag. 6,2



Cúmulo abierto
5h 25,3m
+35° 48′
Dim. 25′x10′
Mag. 7,4



Cúmulo abierto
21h 30,4m
+48° 13′
Diam. 32′
Mag. 5,2



Campo estelar
12h 21m
+58° 20′
Dos estrellas de magnitud 9



Cúmulo abierto
7h 39,5m
-14° 42′
Diam. 30′
Mag. 6



Cúmulo abierto
7h 34,3m
-14° 22′
Diam. 25′
Mag. 5,2



Cúmulo abierto
8h 11,2m
-5° 38′
Diam. 35′
Mag. 5,5



Galaxia elíptica
12h 27,2m
+8° 16′
Dim. 4,5′x4′
Mag. 8,6
En el cúmulo de Virgo



Cúmulo abierto
7h 0,6m
-8° 16′
Dim. 15′x20′
Mag. 6,3



Cúmulo globular
19h 14,6m
+30° 5′
Diam. 5′
Mag. 8,2



Nebulosa planetaria
18h 51,7m
+32° 58′
Dim. 80′x60′
Mag. 9,3
En la Lira




Galaxia espiral
12h 37,7m
+11° 49′
Dim. 5,5′x4,5′
Mag. 9,2



Galaxia elíptica
12h 39,5m
+11° 55′
Dim. 2′x1,5′
Mag. 9



Galaxia elíptica
12h 41,1m
+11° 49′
Dim. 2,5′x2′
Mag. 9,2



Galaxia espiral
11h 17,6m
+13° 16′
Dim. 8′x3′
Mag. 8,8



Cúmulo abierto
8h 47,8m
+12° 0′
Diam. 27′
Mag. 6,1



Cúmulo globular
12h 36,8m
-26° 29′
Diam. 4′
Mag. 8,2



Cúmulo globular
18h 28,1m
-32° 23′
Diam. 4′
Mag. 8,9



Cúmulo globular
18h 40m
-32° 21′
Diam. 4′
Mag. 9,6



Nebulosa planetaria
1h 38,8m
+51° 19′
Dim. 157′x87′
Mag. 12,2



Galaxia espiral
2h 40,1m
-0° 14′
Diam. 3′
Mag. 8,9



Nebulosa gaseosa
5h 44,2m
+0° 2′
Dim. 8′x6′
Mag. 8,3



Cúmulo globular
5h 22,2m
-24° 34′
Diam. 3′
Mag. 7,9



Cúmulo globular
16h 14,1m
-22° 52′
Diam. 5′
Mag. 7,7



Galaxia elíptica
12h 23,7m
+13° 13′
Dim. 3′x2′
Mag. 9,7



Galaxia elíptica gigante
12h 28,3m
+12° 40′
Diam. 3′
Mag. 9,2



Galaxia espiral
12h 29,5m
+14° 42′
Dim. 5′x2′
Mag. 10,2



Galaxia elíptica
12h 33,1m
+12° 50′
Diam. 3′
Mag. 9,5



Galaxia espiral
12h 34,3m
+13° 26′
Dim. 7′x3′
Mag. 10



Galaxia espiral
10h 44,1m
+12° 5′
Dim. 4′x3′
Mag. 9,1



Nebulosa planetaria
11h 12,0m
+55° 18′
Diam. 3′
Mag. 12
La nebulosa de la Lechuza



Galaxia espiral
12h 11,3m
+15° 11′
Dim. 8′x2′
Mag. 10,7



Galaxia espiral
12h 16,3m
+14° 42′
Dim. 5′x4′
Mag. 10,1



Galaxia espiral
12h 20,4m
+16° 6′
Diam. 6′
Mag. 10,6



Galaxia espiral
12h 16,5m
+47° 35
Mag. 8,6



Cúmulo globular
16h 29,7m
-12° 57′
Mag. 9,2



Galaxia espiral
11h 8,7m
+55° 57′
Mag. 10,7



Galaxia espiral
11h 55m
+53° 39′
Mag. 10,8

Galaxia elíptica
0h 37,6m
+41° 25′
Mag. 9,4
La segunda compañera de Andrómeda

El color del recuadro indica la tipología del objeto; por ejemplo, el color amarillo indica las galaxias elípticas.

GÉMINIS

La constelación zodiacal de Géminis (Gemelos) recuerda a Cástor y Pólux, hijos de Leda.



Géminis pertenece a la franja de las constelaciones zodiacales. El Sol atraviesa esta constelación en junio y, en tal período del año, mirando desde el hemisferio norte, nuestra estrella se encuentra, al mediodía, a la máxima altura sobre el horizonte sur. Mirando desde el hemisferio sur, la altura alcanzada por el Sol sobre el horizonte norte es mínima. En estas fechas, la eclíptica, que representa la trayectoria del Sol entre las estrellas, al atravesar la constelación de Géminis y la constelación vecina de Tauro está a la máxima distancia del ecuador celeste en dirección norte.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

La constelación de Géminis está a mitad de camino entre Régulo, en Leo, y Aldebarán, la estrella gigante roja que representa el ojo del toro, en la constelación de Tauro.

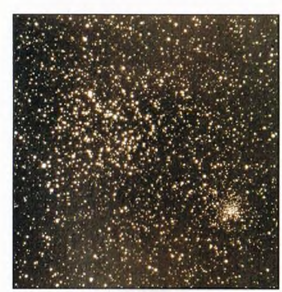
Es posible localizar también Cástor y Pólux, las dos estrellas más brillantes de Géminis, a unos 30º al noreste de Orión.



DÓNDE BUSCARLA

GÉMINIS

Géminis abarca una región del cielo comprendida entre 35° N y 10° N de declinación, y entre 5 horas 55 minutos y 8 horas 5 minutos de ascensión recta. Es íntegramente visible todo el año desde latitudes superiores a los 80° N y parte del año desde las regiones de latitud comprendida entre 80° N y 55° S. Por debajo de 55° S, nunca es íntegramente visible. La constelación de Géminis es una de las constelaciones que resplandecen en las noches invernales del hemisferio norte.

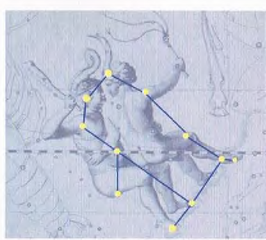


M35 es una agrupación de un centenar de astros perceptibles a simple vista. Pertenece a la categoría de los cúmulos abiertos, así llamados por el aspecto poco compacto que los distingue.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Hemos citado ya las dos estrellas más brillantes, que toman el nombre de los dos personajes a los cuales está asociada la constelación. Cástor y Pólux se indican en las cartas celestes respectivamente como Alfa (magnitud 1,6) y Beta (magnitud 1,1). Por tanto, no se respeta aquí la regla, introducida por Bayer, sobre la denominación de las estrellas por medio de letras del alfabeto griego. Esta regla establece que, en toda constelación, a la estrella más luminosa se le atribuye la letra alfa, a la segunda en orden de luminosidad la letra beta y así sucesivamente hasta agotar las letras del alfabeto griego. No es posible decir si la discrepancia se debe a un error del propio Bayer, imputable a la pequeña diferencia de luminosidad entre las dos estrellas en cuestión o si se debe, en cambio, a que cuando se asignaron los nombres Pólux era realmente menos luminosa que Cástor.

Cástor es una estrella doble que requiere un telescopio de al menos 6 cm de apertura para resolverla en dos componentes de magnitudes respectivas 1,9 y 2,9. Zeta, llamada también Mekbuda, es una estrella variable cuya magnitud oscila entre 3,7 y 4,2 en un período de 10 días. Cerca de ella se observa una estrella de octava magnitud, pero, a causa de su proximidad a la estrella principal, es necesario un telescopio de gran apertura para distinguirla.



Los gemelos celestes, Cástor y Pólux, en una antigua ilustración.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

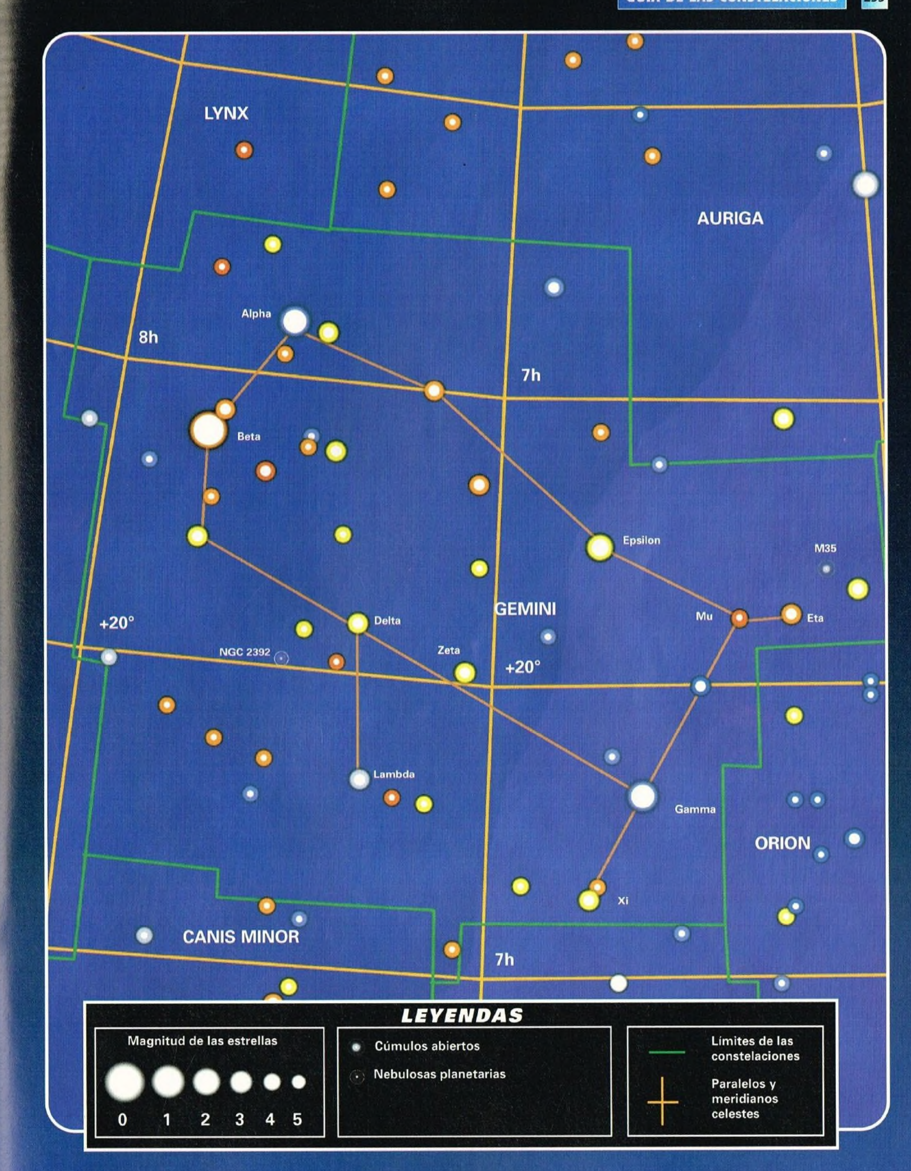
LOS GEMELOS

Cástor y Pólux son una mítica e inseparable pareja de hermanos; el primero sobresalía como domador de caballos, mientras que el segundo era un valiente púgil. Según la leyenda, los hermanos lucharon contra Ida y Linceo, hijos de Afareo, rey de los mesenios, por la posesión de una manada de bueyes. En el combate, Cástor murió a manos de Ida, y Pólux vengó a su hermano matando a Linceo, mientras que Júpiter fulminó a Ida. Pólux era inmortal, pero le pidió a Júpiter que le permitiera seguir a su hermano, del cual no quería separarse. El dios elevó entonces hasta el cielo a los dos hermanos.

OBJETOS DE GÉMINIS

La constelación de Géminis contiene el cúmulo abierto M35, una amplia agrupación de estrellas cuyas dimensiones aparentes superan las de la Luna llena y que contiene unos 120 astros. Pese a ser perceptible a simple vista como una pálida mancha luminosa, es preferible observarlo con unos prismáticos. Su distancia a nosotros es de unos 3.000 años luz.

NGC 2392, en cambio, es una nebulosa planetaria visible en un telescopio como una débil mancha de luz de octava magnitud. La estrella que la ha originado, situada en el centro, brilla con magnitud 10.


LYNX
AURIGA
8h
7h
Alpha
Beta
Epsilon
M35
GEMINI
Mu
Eta
+20°
Delta
NGC 2392
Zeta
+20°
Lambda
Gamma
ORION
Xi
CANIS MINOR
7h
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos abiertos
Nebulosas planetarias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LA PRESIÓN

A menudo, en el estudio o en el trabajo, decimos que nos encontramos «bajo presión». Sin embargo, en el ámbito científico el término «presión» tiene un significado muy distinto. Este concepto nos permite comprender por qué nuestros oídos perciben los sonidos debajo del agua, cómo funcionan las bombonas de los submarinistas y el motivo por el cual en la superficie de Venus quedaríamos aplastados.



Cómo es posible que al caminar sobre nieve blanda nos hundamos dejando profundas huellas, mientras que con esquíes nos movemos suavemente dejando sólo débiles huellas? La respuesta a esta pregunta la da la presión, que es una fuerza distribuida por una superficie. El motivo por el cual nuestros pies se hunden reside en el hecho de que nuestro peso (la fuerza) se concentra en un área reducida (la superficie de apoyo de nuestros pies) creando una elevada presión sobre el manto nevado. Cuando calzamos los esquíes, en cambio, nuestro peso se distribuye por una superficie más vasta, por lo que la presión sobre la nieve se reduce.

BAJO PRESIÓN

Los efectos de la presión en los sólidos son distintos que en los fluidos (líquidos y gases). En los sólidos, en efecto, la presión es absorbida localmente porque los átomos están distribuidos de un modo rígido y constante sobre una red fija. Si aplicamos una fuerza a un gas o un líquido, en cambio, la presión varía de un punto a otro del cuerpo porque los átomos (reunidos en moléculas) pueden moverse libremente.

Si reducimos a la mitad el volumen de una cierta cantidad de gas introducida en un recipiente, la presión del gas se doblará porque las moléculas tienen menos espacio donde moverse libremente y por lo tanto chocan entre sí con mayor frecuencia, produciendo una presión mayor las unas sobre las otras o sobre las paredes del recipiente. Éste es el fenómeno que permite el funcionamiento de las bombonas de los submarinistas, en las cuales los gases se encuentran a

La imagen a toda página muestra cómo un submarinista respira el aire almacenado a alta presión en bombonas cilíndricas de metal. Cuando el submarinista inspira, el aire comprimido se expande hacia el tubo de respiración. Algunas válvulas reducen su presión hasta que alcanza el mismo valor que el agua circundante. Esto permite la dilatación de los pulmones del submarinista pese a la elevadísima presión del agua.

elevada presión; cuando el submarinista inhala la mezcla de gases contenida en la bombona, el aire comprimido se expande llenando los pulmones.

LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

En cada instante el aire ejerce una presión sobre nosotros, pero normalmente no advertimos el fenómeno porque dentro de nuestros cuerpos hay una presión contraria dirigida hacia el exterior. La fuerza gravitatoria de la Tierra impide que los gases que forman la atmósfera se pierdan por el espacio. Así se mantiene constante la presión del aire, que corresponde a la de 760 mm de mercurio.

La presión del aire depende de la altura. A gran altura, en las zonas montañosas, la columna de aire que está encima de nosotros es menor y por lo tanto también lo es la presión. En cambio, si nos sumergimos en las profundidades del océano, la presión aumenta debido al peso del aire y del agua sobre nosotros.

AUMENTO DE LA TEMPERATURA

La presión está influida por la temperatura. Si se calienta un líquido o un gas, las moléculas del interior de este cuerpo se mueven más rápidamente y colisionan con mayor frecuencia entre sí y con las paredes del recipiente. En los boletines meteorológicos que emite la televisión se habla a menudo de regiones de alta y baja presión. Con ello se quiere indicar que en una cierta región la masa de aire atmosférica está subiendo o bajando en función de la temperatura local. Si el aire es frío, las moléculas son más lentas y éste se contrae ocupando un volumen menor que aumenta de densidad, lo que provoca el descenso del aire considerado. Si el aire se calienta, en cambio, las moléculas se mueven a velocidad superior, el volumen se expande y el aire sube, causando una reducción de la presión en el suelo.

CÓMO CREAR EL VACÍO

La reducción de la presión es responsable de lo que habitualmente llamamos aspiración. Un aspirador de polvo funciona reduciendo la presión del aire dentro del electrodoméstico; cuando el tubo de aspiración se acerca al polvo del pavimento, la presión atmosférica, que es mayor, empuja el polvo hacia el tubo. No obstante, es difícil crear un vacío perfecto, o ausencia total de partículas dentro de un recipiente. Esto se debe a que incluso las moléculas de un recipiente sólido se evaporan si se encuentran a presión muy baja, llenando así parcialmente el espacio vacío.

PRESIONES ASTRONÓMICAS

En sus estudios, los astrónomos se enfrentan a un amplio intervalo de presiones: desde la mayor presión que se puede encontrar en el universo,

BOMBA DE PRESIÓN

Cuando utilizamos una bomba de mano o de pedal para hinchar un neumático provocamos un cambio de presión. Antes de accionar la bomba (1), el aire de la bomba está a la misma presión que el aire exterior. Cuando comprimimos la bomba (2), el volumen disminuye y por lo tanto las moléculas de aire se comprimen en un espacio reducido. Esto hace que las moléculas choquen con mayor frecuencia entre sí y con las paredes del recipiente, lo que provoca un aumento de la presión. La elevada presión de la bomba empuja el aire dentro del neumático, hinchándolo.

1. La presión es igual dentro que fuera de la bomba

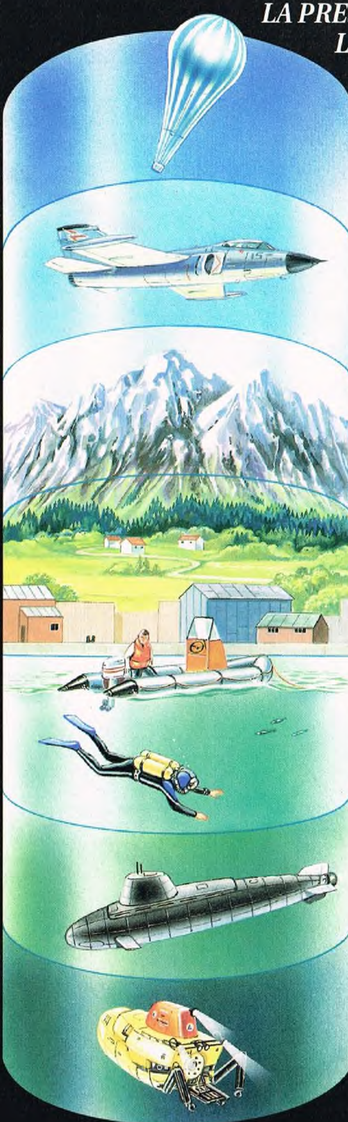


2. Las moléculas de aire se comprimen



LA PRESIÓN EN LA TIERRA

La presión varía con la altura en la atmósfera y con la profundidad bajo el agua.



20.000 m
La presión del aire es menos de una décima parte de la presión a nivel del mar. Un globo sonda medio desinflado se hincharía debido a la reducida presión.

6.000-18.000 m
A esta altitud la presión del aire es tan baja que los aviones deben presurizarse; de otro modo, los pasajeros no podrían inspirar.

4.000 m
En la cima de las montañas, la presión del aire es cerca de la mitad de la presión a nivel del mar. A esta altura, los alpinistas deben utilizar máscaras de oxígeno para poder respirar.

Nivel del mar (0 m)
La presión a nivel del mar es alta (igual a la de 760 mm de mercurio), pero no la percibimos porque en nuestro cuerpo hay una presión equivalente dirigida hacia el exterior.

–120 m
Los submarinistas respiran con bombonas de aire a la misma presión que el agua circundante. Por debajo de –120 m, un submarinista sería aplastado por la presión.

–750 m
Los submarinos tienen un grueso casco para resistir la enorme presión del agua. La tripulación respira gracias a que el aire es mantenido a la presión atmosférica normal.

–11.000 m
Los batiscafos de investigación, controlados desde la superficie, llegan a profundidades de –4.000 m, pero en 1960 uno de estos aparatos bajó hasta una profundidad de –10.916 m.

A la derecha, un barómetro Hooke Wheel. El nivel del mercurio varía con el aumento y la disminución de la presión. La aguja se mueve con el nivel del mercurio, indicando los cambios meteorológicos.

la del densísimo núcleo de una estrella colapsada, hasta la del espacio interestelar, que se acerca al vacío perfecto. Incluso los planetas terrestres más próximos a nosotros tienen una amplia gama de presiones atmosféricas.

Al comparar las presiones atmosféricas de los planetas, debemos tener presentes tres factores: la densidad de los gases atmosféricos, el espesor de la atmósfera y la fuerza de la gravedad en la superficie del planeta considerado. Si los demás factores son constantes, generalmente cabe afirmar que cuanto más elevada es la gravedad superficial mayor es la presión atmosférica.

¿LA TIERRA TIENE UN GEMELO?

A menudo se dice de Venus que es el planeta gemelo de la Tierra porque su tamaño y la gravedad en su superficie son similares. Sin embargo, las semejanzas entre los dos planetas acaban aquí, porque las condiciones de Venus son distintas de las que encontramos en nuestra superficie. Dado que en Venus la gravedad es similar a la de la Tierra, cualquier diferencia debe proceder de la composición y del espesor de la atmósfera venusiana.

La presión en la superficie de Venus es entre 90 y 95 veces mayor que en la Tierra, y a estas presiones los gases presentan comportamientos diferentes: las moléculas se mantienen muy compactas

DATOS

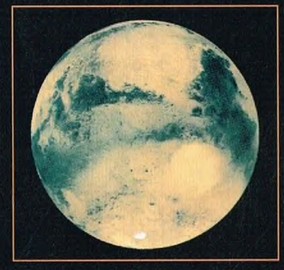
LA PRESIÓN EN EL SISTEMA SOLAR

(Presión en la superficie de la Tierra = 1)
Centro del Sol: 100.000 millones
Núcleo de Júpiter: 45 millones
Superficie de Venus: entre 90 y 95
Superficie de Titán: 1,6
Estratos nubosos de Júpiter: 0,525
Superficie de Marte: 0,01
Superficie de Mercurio: casi nula
Superficie de Plutón: casi nula
Espacio interplanetario: casi nula





Arriba, la presión atmosférica en la superficie de Venus es entre 90 y 95 veces mayor que en la Tierra. A la derecha, la presión atmosférica de la Tierra equivale a la presión ejercida por 760 mm de mercurio. Abajo, debido a su baja gravedad de superficie, Marte tiene una atmósfera que ejerce una presión 100 veces inferior a la terrestre.



y producen una especie de estado intermedio entre el gas y el líquido. Estas elevadas presiones son posibles porque la atmósfera de Venus está formada esencialmente de dióxido de carbono, un gas mucho más denso y pesado que el aire. Si lográramos caminar por la superficie de Venus, protegidos de las elevadas presiones y de las temperaturas, próximas a los 500 ºC, tendríamos probablemente la sensación de caminar por el fondo de una piscina: la elevada densidad de los gases crearía una altísima resistencia, lo que haría extremadamente difíciles los movimientos.

LA PRESIÓN EN MARTE

Marte presenta condiciones extremas pero opuestas, ya que es más pequeño que los otros dos planetas rocosos, con un diámetro aproximadamente igual a la mitad del terrestre. Dado que, además, este planeta tiene una densidad media inferior, también la fuerza gravitatoria de su superficie es pequeña, por lo que Marte sólo consigue conservar una atmósfera muy enrarecida: la presión en su superficie es de algo menos de la centésima parte de la terrestre. También en Marte el componente más común es el dióxido de carbono, pero la cantidad de gas presente no es lo bastante elevada para crear una presión apreciable.

Arriba, la nebulosa de Orión formada por nubes de polvo y gas a bajísima presión.

Las condiciones en el espacio exterior son todavía más extremas. Un ejemplo es el de las nebulosas gaseosas, como por ejemplo la nebulosa de Orión, o M42. Aunque una nebulosa de este tipo parece muy densa desde la Tierra, es así sólo porque estamos muy lejos; en realidad, la presión dentro de una nebulosa es parecida al vacío más extremo que se puede conseguir en nuestro planeta.



LA PRESIÓN DEL AGUA AUMENTA CON LA PROFUNDIDAD

En un fluido, la presión aumenta con la profundidad. Para demostrar esta afirmación tomemos una botella cilíndrica de plástico y abramos tres pequeños agujeros de igual diámetro a diferente distancia del fondo.

Tapemos los agujeros con plastilina por el lado exterior y llenemos la botella con agua. Coloquemos luego la botella sobre un recipiente plano de bordes altos y quitemos rápidamente los tapones de plastilina.

Observaremos que el agua que sale del agujero más próximo a la base lo hace más velozmente y alcanza más lejos que la que sale de los otros dos. La causa del fenómeno es la mayor presión existente cerca del fondo de la botella, debido al peso del agua que hay encima.



AQUÍ LA BASE LUNAR

¿Un sueño futurible o una hipótesis concreta de trabajo y permanencia para la especie humana? Los proyectos para la construcción de una base lunar eficaz son ya una realidad en avanzadísima fase de estudio.

A la derecha, una hipotética base en la Luna, tal como podría construirse en un futuro bastante próximo, en la representación gráfica de un dibujante de la NASA.



Las características técnicas de una posible base lunar fueron ya publicadas en los años cuarenta, pero sólo durante y después de las misiones Apolo, concluidas en 1972, se describieron con detalle los conceptos fundamentales para realizar una base habitada por hombres situada en nuestro satélite. Probablemente, el estudio más importante para la construcción de una futura base lunar fue realizado por la North American Rockwell, en 1971, con la publicación del trabajo que lleva por título *Lunar Base Synthesis Study*.

Este texto es importante por varios conceptos. En primer lugar, se basó en los resultados, ciertamente parciales, de las misiones Apolo. En segundo lugar, estudió una solución para transportar materiales de la Tierra a la Luna, no por medio de grandes cohetes como el Saturno V, sino mediante una estación que orbitaría en torno a la Tierra a varios cientos de kilómetros de altura. Actualmente, este planteamiento parece abandonado, sobre todo porque las ventanas de lanzamiento (los períodos favorables desde el punto de vista dinámico y energético) de una estación espacial terrestre a la Luna se abren sólo a la distancia de un mes una de otra.

De todos modos, las soluciones que propone la investigación son de gran interés. El estudio, además, había proyectado la construcción de los medios necesarios para moverse en la Luna y de los habitáculos para la tripulación, que podían derivar de los módulos que sirven para alojar a los astronautas en la estación espacial internacional.

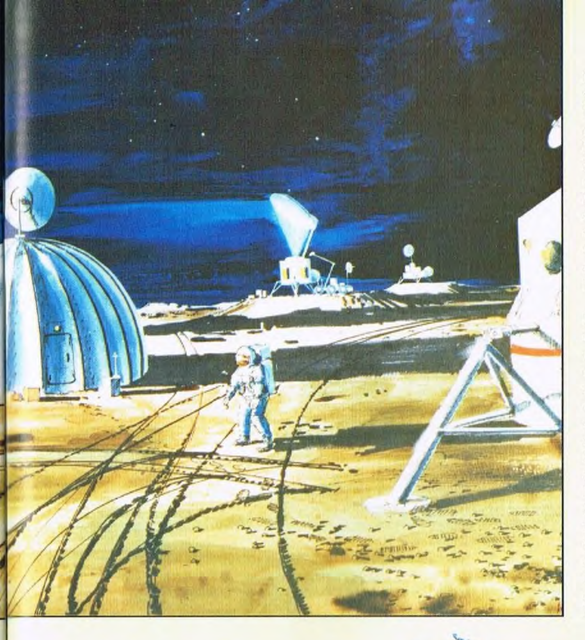
¿POR QUÉ UNA BASE LUNAR?

Los objetivos de una estación lunar permanente habitada por el hombre pueden ser por lo menos tres. El primero prevé el estudio científico de nuestro satélite natural y el aprovechamiento de este ambiente para otras investigaciones de física, astrofísica y química. El segundo contempla la utilidad de la base lunar para investigaciones *in situ* destinadas a producir elementos útiles para la base o destinados a la Tierra. Un tercer objetivo, tal vez el más importante, sería realizar investigaciones para desarrollar un sistema que independizara totalmente la base lunar de la Tierra, transformándola en la primera verdadera colonia humana extraterrestre. Un primer paso hacia este último objetivo podría ser la obtención de oxígeno de las rocas. El oxígeno sería útil no sólo para obtener una parte del aire que necesitaría la base sino también para producir uno de los dos compuestos (el otro es el hidrógeno) que durante unos decenios aún serán los elementos fundamentales de alimentación de los cohetes. La tecnología para extraer oxígeno de las rocas lunares ha sido experimentada ya en la Tierra. De confirmarse la existencia de hielo en los polos lunares, también podría extraerse el hidrógeno.

Otros metales, como el hierro y el titanio, podrían extraerse de las rocas lunares con sistemas no muy complejos. Podría ser que hubiera grandes cantidades de hierro en los restos de algunos meteoritos caídos



A la derecha, la base de la primera avanzadilla lunar.



lo cubren. Las misiones de las sondas Clementine y Lunar Prospector corresponden a esta fase. Una vez elegida el área de aterrizaje, se iniciará el envío del material que servirá para construir la base. Durante esta fase no será necesaria la intervención de astronautas. Una nave de carga totalmente automática depositará en el suelo lunar las primeras estructuras ya ensambladas. El material deberá transportarse hasta la Luna con un cohete una vez y media más potente que el Saturno V. Ordenadores sincronizados con otros situados en la Tierra realizarán los procedimientos que deberán hacer operativa la base.

Por ejemplo, se garantizará automáticamente la apertura de los paneles solares y la habitabilidad de los módulos lunares que hospedarán a los astronautas. Se procederá después al lanzamiento de una nave pilotada, que se posará directamente sobre el suelo lunar y regresará a la Tierra por vía directa. La construcción del X-33 en estos años debería agilizar esta importante fase. En lo concerniente al proyecto FLO, la primera misión debería llevar a la Luna a cuatro hombres que podrían permanecer allí 40-45 días. Su tarea consistirá en profundizar las investigaciones fisicoquímicas del satélite y dar inicio a nuevas investigaciones en astrofísica, biología y otras disciplinas científicas. También se les encargará que comiencen la extracción de oxígeno de las rocas y que construyan los ladrillos para futuros edificios. Estos ladrillos podrían proceder del permafrost lunar, el suelo de la Luna. Un vehículo lunar podrá transportar a los hombres hasta 25 km

en la Luna en tiempos pasados. Otro factor que hace interesante la construcción de la base lunar es el hecho de que nuestro satélite natural podría convertirse en una importante base de lanzamiento para satélites.

La menor fuerza gravitatoria comparada con la terrestre y la falta de atmósfera hacen que, respecto a un lanzamiento desde la Tierra, a igualdad de potencia de un cohete se pueda enviar al espacio una cantidad mayor de materiales. Por ejemplo, en el momento del lanzamiento de un transbordador desde la Tierra, sólo el 1,5% de su masa corresponde al material científico y a los equipos para la tripulación, mientras que gran parte del resto de la masa corresponde al propulsor. Desde la Luna, en cambio, cerca del 50% de la masa de un transbordador que parta de su superficie podría estar formada por material científico y técnico.

CÓMO SE CONSTRUIRÁ LA PRIMERA BASE LUNAR

La NASA ha proyectado con detalle un plan muy concreto para regresar a la Luna que en el transcurso de un decenio podría llevar a la construcción de una base permanente. Este proyecto ha sido llamado FLO, de First Lunar Outpost, es decir, Primera Avanzadilla Lunar. La primera fase prevé el envío de algunas sondas alrededor del satélite para obtener una detallada cartografía de su superficie, y un análisis químico muy preciso de las rocas y del suelo que

ASTRONOMÍA DESDE LA LUNA

La falta de atmósfera, una superficie extremadamente estable desde el punto de vista sísmico y la ausencia total de interferencias radioeléctricas y ópticas, sobre todo en el lado oculto del satélite, hacen de la Luna uno de los lugares más adaptados de todo el sistema solar para el estudio del universo más lejano. Los observatorios lunares podrían suministrar informaciones con prestaciones 100.000 veces superiores a las hoy alcanzables en la Tierra. Podrían brindar una ayuda única no sólo para la detección de radiofrecuencias extremadamente bajas (longitudes de onda kilométricas), que sólo se pueden observar desde la cara oculta de la Luna, sino también en campos muy complejos de la astronomía, como la búsqueda de neutrinos o de ondas gravitacionales. Otros instrumentos adaptados a la Luna bastante fáciles de construir y de transportar podrían ser los detectores de impulsos de rayos gamma *(burst)* y los dispositivos para el estudio de la variabilidad de las fuentes de rayos X. En la Luna, además, hay lugares donde la temperatura ronda los 70 K. Muchos detectores astronómicos deben enfriarse artificialmente hasta tales temperaturas con el fin de limitar el ruido cósmico que se produce en la parte electrónica de los instrumentos; en la Luna, en cambio, estas condiciones son naturales. Si alguna vez se instalara una base lunar, las ciencias astronómicas podrían dar un salto adelante comparable al que se produjo con el telescopio espacial Hubble.

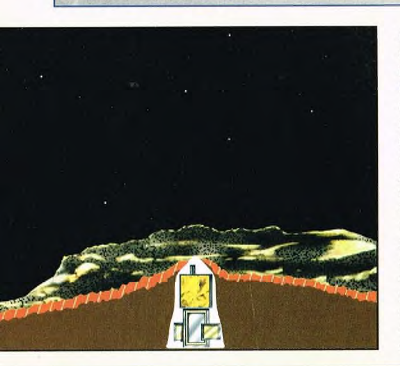
En esta base lunar hay detectores de rayos X y gamma, telescopios ópticos y telescopios ultravioletas.



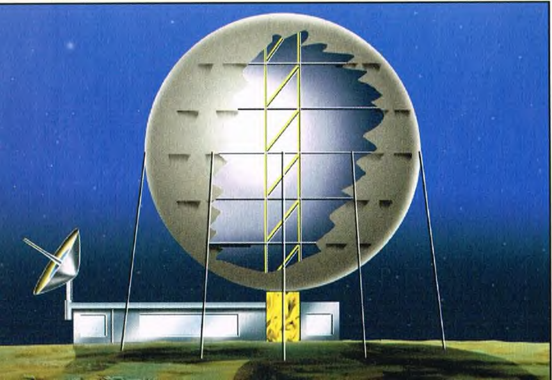
TAMBIÉN LA ESA TIENE SU PROPIO PROYECTO

La Luna es un laboratorio natural de 38 millones de km² que por sus características puede considerarse como una especie de «libro de historia» de la evolución del sistema solar y del propio Sol. Por este motivo, es lógico que al margen de los esfuerzos económicos y tecnológicos que se están haciendo para construir la Estación Espacial Alfa, al margen de las investigaciones científicas sobre los planetas del sistema solar y en particular de la Tierra, la base lunar resulte ser un proyecto a largo plazo de extrema importancia. Es fundamental, pues, que Europa juegue un papel relevante en este futuro programa. Por ello, Europa ha propuesto un proyecto propio de exploración lunar que puede alcanzarse en cuatro fases:

1. La primera fase se centraría en satélites orbitales, sondas automáticas a la Luna y todoterrenos robotizados y pilotados desde la Tierra. Serviría para conocer con detalle nuestro satélite, con el objetivo, entre otros, de elegir el área más adecuada para la construcción de una base lunar.
2. La segunda fase consistiría en una presencia continua de robots en la Luna, lo cual permitiría, además de profundizar en el conocimiento de nuestro satélite, poner en marcha investigaciones científicas no directamente ligadas a su estudio.
3. La tercera fase se centraría en la exploración de los recursos y del medio lunar con el fin de extraer oxígeno y materiales del suelo del satélite.
4. La cuarta fase, por último, consistiría en la instalación de la primera avanzadilla humana en la Luna.



Esta estructura ha sido diseñada por investigadores del Proyecto Artemis, una asociación internacional que estudia los medios más económicos para llevar al hombre a la Luna y hacer que permanezca allí largos períodos. Se trata de un habitáculo de 18 m de diámetro dividido en 5 pisos. Con un peso de unos 5.000 kg, la estación podría ocupar, para el transporte, un espacio mínimo e hincharse en la misma superficie lunar.



de la base y teledirigido podrá llevar material científico hasta 200 km de distancia. Algunos investigadores han elegido incluso el área de esta primera base lunar. Se trata del *Mare Smythii*, cerca del ecuador y en el borde extremo del hemisferio visible, entre el *Mare Crisium* y el *Mare Fecunditatis*. Las misiones siguientes, siguiendo siempre los planes del FLO, deberían iniciar la construcción de un radiotelescopio y la extracción de algunas muestras de rocas hasta una profundidad de 10 m. En el proyecto falta un solo elemento que garantice su realización en breve plazo: el dinero necesario para financiar el proyecto.

OTRAS TRES FASES DEL PROYECTO DE BASE LUNAR

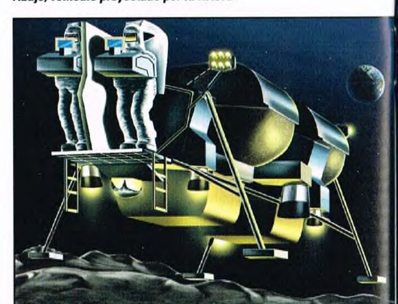
Después de haber construido una primera base lunar todavía totalmente dependiente de la Tierra, se dará vía libre a otras fases que deberán llevar a cabo la construcción de la primera colonia autosuficiente. Según los proyectos definidos también por la NASA, se debería llevar a cabo la construcción en las fases siguientes:

Fase 1 – Base operativa:
- La primera base deberá ser permanentemente ocupada por los astronautas.
- Se abrirán minas, en número creciente, para la extracción de minerales y oxígeno.
- Dará comienzo una agricultura de laboratorio.
- Se iniciará la producción de materiales piloto.

Fase 2 – Base avanzada:
- Se abrirá un laboratorio de ecología lunar.
- La base lunar deberá alcanzar la autonomía desde el punto de vista energético (cerca del 90%) utilizando materiales extraídos del suelo del satélite.
- Se pondrá en marcha un plan piloto de agricultura.

Fase 3 – Hacia la colonia autosuficiente:
- Se alcanzará una producción de oxígeno a gran escala.
- Se instaurará un ciclo ecológico vital independiente de la Tierra.
- Dará comienzo la producción de productos manufacturados directamente desde la Luna.
- La base lunar logrará una autonomía del 100% desde los puntos de vista energético y alimentario.
- La población de la base crecerá *in situ*.

Abajo, vehículo proyectado por la NASA.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

EL GIGANTE DEL SISTEMA SOLAR

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LAS DISTANCIAS DE LAS ESTRELLAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

LA VELA

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

ARIANE, EL LANZADOR EUROPEO

EL USO DEL ESPACIO

SATÉLITES ASTRONÓMICOS

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

13



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

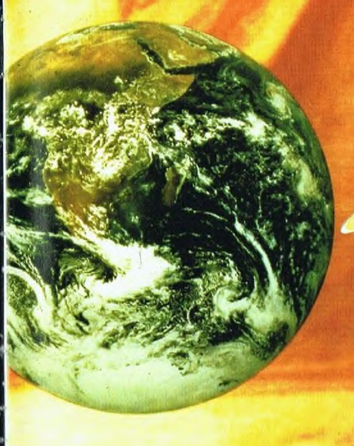
ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

EL GIGANTE DEL SISTEMA SOLAR



La masa de Júpiter es mayor que todas las de los otros planetas reunidos. Su luminosidad sólo es comparable a la de Venus y está compuesto de los mismos gases que el Sol.



Júpiter es el mayor de los planetas del sistema solar y debe considerarse como una estrella frustrada. Es un planeta gaseoso compuesto sobre todo de hidrógeno y helio (como el Sol) y su masa no está muy por debajo del umbral mínimo para que la contracción gravitatoria pueda llevar sus regiones centrales a las temperaturas necesarias para la fusión del hidrógeno y, por tanto, al nacimiento de una estrella. El sistema solar ha evitado así transformarse en un sistema binario que habría impedido la formación y la existencia de planetas en su interior.

Júpiter es uno de los cinco planetas conocidos desde los tiempos más remotos; de todos los planetas, sólo Venus es más luminoso, pero nunca puede verse en el cielo en plena noche.

En la mitología griega, y después en la romana, fue identificado con el señor del cielo y el más poderoso de los dioses del Olimpo: el griego Zeus y el romano Júpiter, del que tomó el nombre.

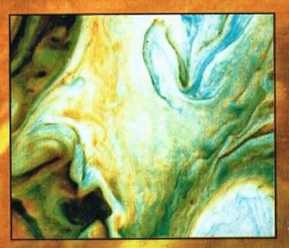
El aspecto de Júpiter, observado con un pequeño telescopio, se caracteriza por franjas de color paralelas al ecuador alternativamente claras (zonas) y oscuras (bandas).

ALGUNOS DESCUBRIMIENTOS HISTÓRICOS

Fue Galileo quien, por primera vez, en 1610, y utilizando un telescopio rudimentario, logró distinguir el disco de Júpiter. Representó el planeta en el *Sidereus Nuncius* (publicado en 1610) como una letra «O» un poco aplastada. Galileo también descubrió los cuatro satélites mayores de Júpiter: Ío, Europa, Ganimedes y Calisto, que hoy se llaman satélites galileanos (el astrónomo, sin embargo, los había llamado mediceos en honor de sus mecenas). Ío y Europa fueron amantes de Júpiter en la mitología grecorromana.

Los primeros detalles del disco de Júpiter, entre los cuales los más importantes son las bandas que lo atraviesan, fueron observados por primera vez por Zucchi en 1630, mientras que con Robert Hooke, en 1664, se empezó a hablar de las famosas manchas. En 1665, Gian Domenico Cassini descubrió la Gran Mancha Roja: una gran mancha ovalada en la zona tropical sur, que le permitió determinar un primer valor de 9 horas y 56 minutos para la rotación del planeta. También pudo observar con suficiente detalle las estructuras que hay en la banda ecuatorial y calculó para ésta un período de rotación de 9 horas y 51 minutos. La diferencia entre los períodos de rotación en las diferentes latitudes demostró que los

La composición de la imagen principal muestra nuestra Tierra (arriba a la izquierda) sobre el fondo de la atmósfera de Júpiter.
Abajo, detalle de las capas exteriores de Júpiter, caracterizadas por muchas turbulencias.



detalles observados no podían pertenecer a una superficie sólida. Cassini también midió el achatamiento polar del planeta, que resultó ser 1/15 de su diámetro.

La invención de los telescopios con espejos de vidrio recubiertos de plata facilitó el estudio y la observación de las características del planeta. A mediados del siglo XIX, podía disponerse de un buen telescopio, incluso para uso de astrónomos aficionados, por un precio moderado.

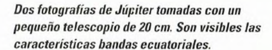
La naturaleza física del planeta fue una cuestión abierta durante todo el siglo XIX. Mientras que en los primeros decenios se pensaba que tenía la misma consistencia que la Tierra, en los últimos años del siglo XIX la teoría más acreditada era la de la existencia de una gran atmósfera con nubes altas muy frías, pero con unas turbulencias que sólo podían explicarse suponiendo una fuente de calor interno. En esos mismos años, en el espectro del planeta se identificaron unas bandas de absorción características, que, según se descubrió luego, se debían al metano y al amoníaco, ambos presentes encima de la capa de nubes que cubre el planeta.

LA ROTACIÓN DIFERENCIAL

El período de rotación de Júpiter es el menor de todos los planetas del sistema solar. Como los planetas gaseosos, no gira como un cuerpo sólido, sino que cada latitud tiene su propia velocidad (rotación diferencial).

Al contrario que el Sol, cuyo período de rotación varía progresivamente con la latitud, Júpiter muestra variaciones más complejas y locales, que recuerdan movimientos de circulación atmosférica. El período de rotación varía entre 9 horas y 50 minutos en la franja ecuatorial, y 9 horas y 55 minutos en las latitudes más elevadas. La alta velocidad de rotación ha provocado el achatamiento de Júpiter por los polos: el diámetro de éstos es de 134.700 km, contra los casi 143.000 km del ecuador.





Dos fotografías de Júpiter tomadas con un pequeño telescopio de 20 cm. Son visibles las características bandas ecuatoriales.

LA FORMA DE LOS PLANETAS GASEOSOS

Las dimensiones y la densidad de los planetas gaseosos se regulan de manera que la presión hacia el exterior de su materia comprimida equilibra exactamente la fuerza centrípeta de la gravedad (dirigida hacia el interior) en cada punto del planeta. El resultado es un equilibrio hidrostático. A este equilibrio se añade la fuerza centrífuga que actúa sobre un cuerpo en rotación. Por esto, los planetas están aplastados por los polos, con un radio polar menor que el ecuatorial.

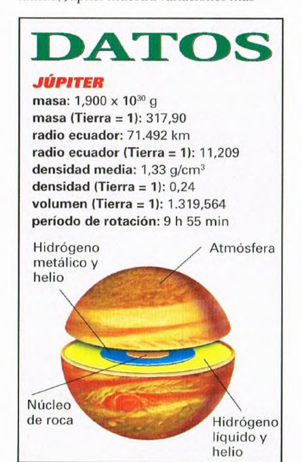
La magnitud del aplastamiento depende de la distribución interna de las masas: cuanto más concentrada está la masa en el centro, menos acentuado es el achatamiento.

Júpiter tiene una concentración de masa hacia el plano ecuatorial y, por tanto, existe una diferencia del 6% entre los radios ecuatorial y polar.

DATOS

JÚPITER

masa: 1,900 x 10^{30} g
masa (Tierra = 1): 317,90
radio ecuador: 71.492 km
radio ecuador (Tierra = 1): 11,209
densidad media: 1,33 g/cm^3
densidad (Tierra = 1): 0,24
volumen (Tierra = 1): 1.319,564
período de rotación: 9 h 55 min



Abajo, una fotografía de Júpiter enviada por el Voyager 1, en la que se ha dibujado el anillo que orbita alrededor de su ecuador.



LA ESTRUCTURA INTERNA DE JÚPITER

La estructura interna de Júpiter consta de un núcleo compacto que no puede estar formado por hidrógeno y helio comprimidos. La presión interna del planeta es insuficiente para producir las densidades necesarias.

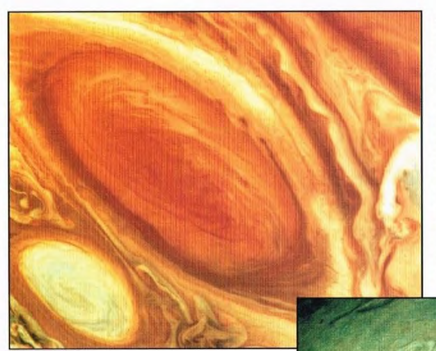
Júpiter debe de tener un núcleo de roca y hielo que constituye cerca del 4% de la masa. Luego debería de haber una capa de hidrógeno metálico, es decir, una capa en la que los electrones no están ligados a protones, sino que son libres de moverse por una mezcla neutra de electrones y protones. De esta manera, el hidrógeno adquiere las características de conductividad de un metal. Esto sucede a una presión del orden de tres millones de atmósferas terrestres. Gran parte del planeta debe de encontrarse en este estado. A una distancia aproximada de 0,7 radios planetarios hay una transición entre la capa de hidrógeno metálico y otra compuesta por una mezcla líquida de helio e hidrógeno molecular. Por encima de ésta se encuentra la atmósfera formada por hidrógeno y helio gaseosos, con la presencia de otros compuestos.

¿DE DÓNDE PROVIENE EL CALOR IRRADIADO POR JÚPITER?

Mediciones efectuadas desde la Tierra y desde sondas revelan que la energía emitida por Júpiter, en su mayor parte en forma de radiación infrarroja, es aproximadamente 1,5 veces mayor que la que absorbe de la luz solar. De esto se deduce que Júpiter tiene una fuente interna de calor.

Esta energía no puede ser de tipo nuclear, sino que el calor procede de la energía potencial gravitatoria debida al colapso de la materia mientras se formaba el planeta: el interior de Júpiter todavía está muy caliente, con una temperatura en el centro de unos 30.000 K.

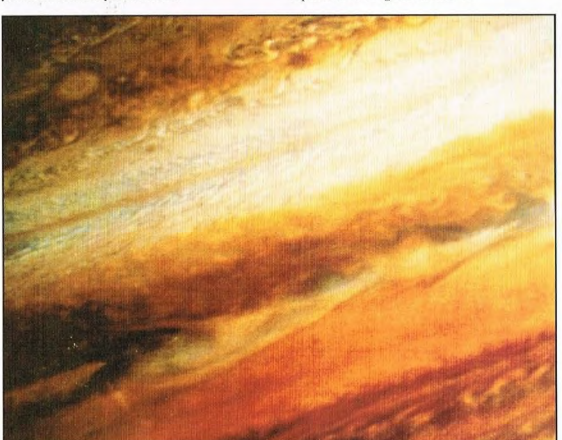
El calor fluye desde el centro hacia el exterior según el segundo principio de la termodinámica, pero este paso está obstaculizado por los remolinos producidos por los movimientos convectivos de la masa líquida de hidrógeno metálico.



A la izquierda, imagen de la Gran Mancha Roja tomada por la sonda estadounidense Voyager 1. Este remolino ciclónico es visible incluso con instrumentos pequeños. Abajo, además de la Gran Mancha Roja, en las capas atmosféricas de Júpiter pueden verse otros ciclones como éste, de color blanco.



Abajo, los turbulentos y espectaculares movimientos de la atmósfera de Júpiter se deben también a los movimientos convectivos que se producen en las capas inferiores.



LA ATMÓSFERA DE JÚPITER, NUBES Y MANCHAS

Como se ha dicho anteriormente, cuando se observa Júpiter, la única estructura visible es la atmósfera con sus típicas nubes y manchas.

Las nubes están dispuestas de manera paralela al ecuador y pueden ser claras u oscuras, según se trate de corrientes calientes ascendentes o frías descendentes.

Entre los muchos gases que contiene la atmósfera, se han identificado metano,

Abajo, aurora polar (franja luminosa blanca) en el hemisferio en sombra de Júpiter.



LA GRAN MANCHA ROJA

La Gran Mancha Roja es un gigantesco remolino de alta presión recorrido por una corriente ascendente que se eleva unos 10 km sobre las nubes que la rodean. Tiene una estructura ciclónica de una duración sin igual en la Tierra. Las masas de gases emplean 6 días en efectuar una vuelta completa alrededor del centro de la mancha. Existen teorías sobre la causa de su estabilidad a pesar de los vientos de direcciones contrarias que circulan por arriba y por debajo, pero la explicación de su origen es muy difícil. Algunos proponen la de la onda simple con una cresta única. Otra explicación es que el movimiento de las nubes forme parte de estructuras más profundas: con esta hipótesis se puede demostrar la posible existencia de remolinos estables en el flujo este-oeste. Simulaciones con ordenador han mostrado que este tipo de remolinos tienen una alta resistencia a las perturbaciones y que las grandes manchas se desarrollan a expensas de las pequeñas, como sucede realmente. Por tanto, la cuestión sería descubrir la magnitud de las masas atmosféricas en movimiento y determinar la relación entre el calentamiento de Sol y el que procede del interior del planeta.

amoníaco, hidrógeno, helio, carbono, nitrógeno y otros compuestos. La atmósfera no está en equilibrio debido a los rayos ultravioletas procedentes del Sol, que escinden los compuestos más complejos.

Las nubes de diversos colores de la atmósfera pueden asociarse a las diferentes alturas atmosféricas. Las nubes más altas son rojas; inmediatamente debajo están las blancas; más abajo, las de color marrón, mientras que las de las capas iniciales son azuladas.

En la Tierra, los vientos existen porque el Sol calienta más los trópicos que los polos y, de esta manera, se crean diferencias de temperatura en las diferentes latitudes: el aire caliente circula por encima del aire frío polar. Por tanto, hay un transporte de calor hacia arriba y hacia los polos.

En Júpiter, los vientos soplan alternativamente desde el este o desde el oeste de manera más fuerte que en la Tierra. El mecanismo podría ser similar al de nuestro planeta, al menos en la parte de la atmósfera que recibe la luz del Sol: los vientos son mantenidos por remolinos que transfieren cantidad de movimiento lejos de las latitudes ecuatoriales.

Las manchas podrían ser remolinos más o menos persistentes que se encuentran por encima del flujo hacia el este o el oeste: las manchas pequeñas flotan acumulando energía gravitatoria y las grandes se mantienen absorbiendo las pequeñas.

EL CAMPO MAGNÉTICO

Júpiter tiene un campo magnético de gran intensidad, unas 12 veces mayor que el de nuestro planeta, y su eje magnético está inclinado unos 11° respecto al de rotación.

La existencia de un campo magnético se explica por la presencia en el interior de Júpiter de hidrógeno metálico fluido que, al ser un buen conductor y girar a gran velocidad, genera campos magnéticos.

Las características de este campo son similares a las del campo terrestre: también aquí tenemos dos polos, pero invertidos. Por tanto, en este gigante gaseoso, la aguja de una brújula indicaría el sur en vez del norte.

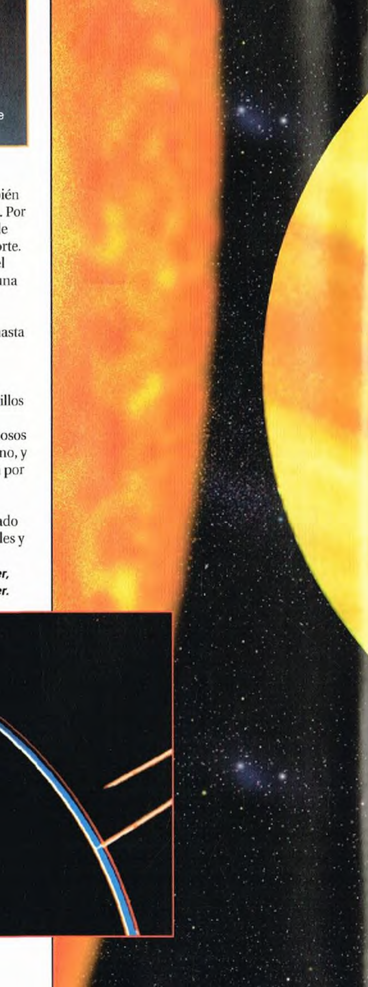
También en Júpiter es el viento solar el que crea la magnetosfera, formada por una zona de la que están ausentes las cargas eléctricas (magnetopausa), un disco de plasma y una cola magnética que llega hasta Saturno.

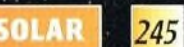
LOS ANILLOS DE JÚPITER

Como Saturno, Júpiter también tiene anillos que rodean el planeta a la altura de su ecuador, pero no son brillantes ni luminosos como los que han hecho famoso a Saturno, y se encuentran a una altura de 55.000 km por encima de su atmósfera.

Descubiertos por primera vez por las sondas Voyager, también se han observado desde la Tierra. Hay dos anillos principales y

Abajo, fotografía del anillo que rodea Júpiter, tal como fue observado por la sonda Voyager.





3°

EL NACIMIENTO DE JÚPITER

En el momento de su nacimiento, Júpiter tenía un diámetro y una luminosidad mayores que los actuales. En efecto, la energía producida por su contracción y su masa hacía aumentar su temperatura. Si su masa hubiese sido mayor (unas 60 veces más), habría continuado la contracción, formando finalmente una estrella.

Júpiter

23°

Tierra

Júpiter tiene un diámetro ecuatorial más de 11 veces mayor que la Tierra. Su eje está mucho menos inclinado (3° contra 23° del de la Tierra).



A la izquierda, imagen de Calisto, uno de los satélites de Júpiter. Son evidentes los numerosos cráteres de impacto que lo hacen parecido a nuestra Luna.

uno muy fino, más interior, de un característico color anaranjado. Su espesor no debe superar algunos kilómetros, y están formados principalmente por polvo y pequeños fragmentos. Por este motivo reflejan poco la luz del Sol y son poco visibles. Probablemente, este polvo procede de las frecuentes erupciones de los volcanes de Ío: la materia expulsada por el satélite choca con otro pequeño satélite en el borde de los anillos y se dispersa en forma de polvo y fragmentos.

LOS SATÉLITES DE JÚPITER

Hasta ahora, sobre todo gracias a los análisis de las sondas, se han descubierto 16 lunas de Júpiter. Las más grandes e importantes ya las había observado Galileo. Son: Ío, Europa, Ganimedes y Calisto. Estos satélites se mueven manteniendo siempre la misma cara orientada hacia Júpiter, exactamente de la misma manera que la Luna respecto a la Tierra.

Las imágenes y los análisis de estos satélites los han efectuado las dos Voyager.

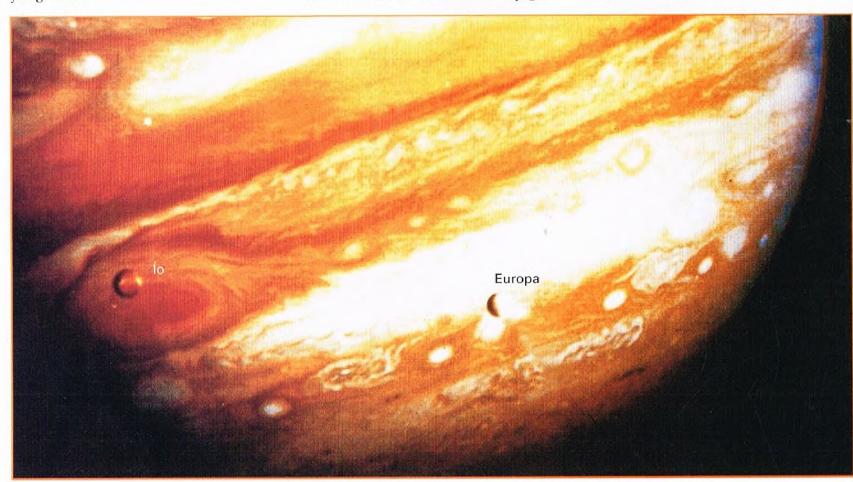
– Ío: la proximidad de Júpiter provoca en su superficie enormes fuerzas de marea que determinan un volcanismo difuso y recurrente. Sus fotografías muestran una superficie sin cráteres de impacto, con escarpaduras y fracturas. También existen numerosas calderas producidas por el hundimiento de volcanes, rodeadas de largas coladas de lava. La lava está formada por basaltos compuestos de derivados del azufre.

Mientras la Voyager I sobrevolaba el satélite, estaba produciéndose una erupción volcánica, y la sonda pudo captar por primera vez una erupción extraterrestre.

– Europa: las imágenes de las dos sondas muestran un cuerpo casi blanco con trazos oscuros superficiales. Sobre su suelo hay una serie de depresiones y de altiplanos comunicantes, mientras que la ausencia de relieves elevados se debe, probablemente, a la gruesa capa de hielo (unos 100 km) que cubre toda la superficie y oculta las montañas.

– Ganimedes: es un cuerpo muy similar a nuestra Luna, con una red superficial de bandas irregulares que se entrecruzan.

Abajo, sobre el disco de Júpiter son visibles dos lunas, Ío y Europa, que muestran la grandiosidad del gigante del sistema solar.



El suelo está formado por numerosos cráteres rodeados de regiones más lisas y nuevas, sembradas de acanaladuras.

– Calisto: su superficie está cubierta por una costra de hielo. En su suelo hay muchos cráteres y los relieves no alcanzan alturas significativas. También hay anillos concéntricos debidos a un impacto que tuvo lugar poco después de la formación del satélite.

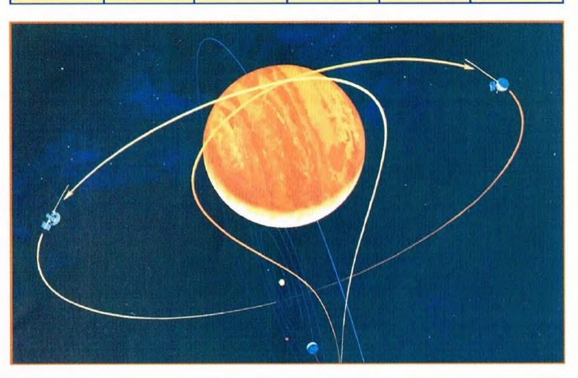
DATOS	DISTANCIA A JÚPITER EN KM	PERÍODO ORBITAL EN DÍAS	RADIO EN KM	MASA EN G	DENSIDAD MEDIA EN G/CM³
ÍO	421.600	1,77	1.815	$8,94 \times 10^{25}$	3,57
EUROPA	670.900	3,55	1.569	$4,8 \times 10^{25}$	2,97
GANIMEDES	1.070.000	7,16	2.631	$1,48 \times 10^{26}$	1,94
CALISTO	1.883.000	16,69	2.400	$1,08 \times 10^{26}$	1,86

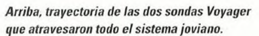
SONDAS HACIA JÚPITER

Hacia Júpiter se han lanzado seis sondas: las Pioneer 10 y 11, las dos Voyager, la sonda Ulises y la Galileo.

Las sondas Pioneer se lanzaron, respectivamente, en 1972 y 1973. Después, la Pioneer 11 fue al encuentro de Saturno (1979), mientras que la sonda gemela salió del sistema solar en 1983 sin encontrar ningún otro cuerpo. Por primera vez, con el proyecto Pioneer, el hombre lograba estudiar de cerca los planetas gaseosos tan lejanos. Las fotografías enviadas inauguraron una era rica en observaciones directas de los cuerpos de nuestro sistema solar. En ambas sondas va montada una placa que contiene imágenes y símbolos referidos al hombre y destinados a eventuales lectores extraterrestres.

El proyecto Voyager era mucho más ambicioso: aprovechando un alineación de los planetas exteriores, que sólo se repite cada 200 años, era posible visitar Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno en un solo viaje.




Arriba, trayectoria de las dos sondas Voyager que atravesaron todo el sistema joviano.

La Voyager 1 alcanzó la mínima distancia de Júpiter en marzo de 1979 y envió a la Tierra una enorme cantidad de imágenes y datos que han requerido años para ser analizados. La Voyager 2 pasó más lejos, pero también sobrevoló los satélites galileanos, revelando panoramas increíbles. Con el desarrollo de la electrónica, los sistemas de control de las sondas se han hecho más autónomos.

La sonda Voyager (1 y 2 son prácticamente iguales) con su gran antena, en las cercanías de Júpiter.



El destino de la sonda Ulises era las regiones polares del Sol. Para alcanzar su meta y salir del plano de la eclíptica, Ulises utilizó la fuerza de la gravedad del gigante gaseoso pasando por encima de su plano ecuatorial. No envió imágenes porque la sonda no dispone de cámaras fotográficas, pero pudo estudiar su campo magnético, con una atención particular al anillo de plasma que orbita alrededor de Júpiter y está centrado en Ío. El plasma procede de la ionización que el viento solar produce en las partículas cargadas de azufre y oxígeno eyectadas por los volcanes del satélite. El campo magnético detectado por la sonda Ulises ha aumentado desde la época del paso de las Voyager, probablemente debido al plasma producido por Ío.

La sonda Galileo, que llegó a Júpiter en 1995, representa un nuevo paso adelante en la evolución de los sistemas robóticos automatizados. La finalidad de la misión era enviar un pequeño módulo a la atmósfera de Júpiter mientras la sonda madre continuaba orbitando alrededor del planeta.

La misión nació con mala suerte: aplazado el lanzamiento del módulo de 1986 a 1989, poco después se observaba que la antena principal no se abría; los datos se enviaron a través de una segunda antena mucho más pequeña.

LAS DISTANCIAS DE LAS ESTRELLAS MÁS CERCANAS

Intentar medir las distancias a los objetos celestes constituye uno de los mayores retos y empeños de la astronomía. Su consecución sirve para entender mejor cómo se formó el universo.



Observando el cielo a simple vista, las estrellas, incluso las más brillantes, aparecen siempre como puntos luminosos situados, aparentemente, a la misma distancia de nosotros; la bóveda celeste nos parece una especie de «tapicería» suspendida sobre nuestras cabezas. Por esto, las estrellas se identifican sólo con dos coordenadas (la ascensión recta y la declinación) y no con tres: es como si estuviesen en una superficie y no en un espacio tridimensional. Ni siquiera los telescopios más grandes son de ayuda en este tipo de observaciones: incluso en las imágenes tomadas por el telescopio espacial Hubble, las estrellas no muestran ningún detalle que pueda utilizarse para saber si están lejos o cerca.

LA «PROFUNDIDAD» DEL ESPACIO

El conocimiento de que el universo tiene una tercera dimensión, es decir, una profundidad, es una



La medida de la distancia a un objeto inaccesible, como por ejemplo un árbol situado más allá de un río, es un problema clásico de trigonometría, es decir, de la rama de la geometría que estudia los ángulos. Para poder efectuar esta medida es necesario tener una base de longitud conocida (AB) y medir los dos ángulos α y β. Con estos datos es posible, a partir de una sencilla fórmula, calcular la distancia que se desea medir.



Midiendo las distancias a estrellas más próximas al Sol, es posible crear una imagen tridimensional de sus alrededores. En este dibujo se muestran las estrellas que se encuentran a una distancia de hasta unos 20 años luz. A la derecha, una imagen de la constelación del Cisne.

MEDIR LOS ÁNGULOS

Como es sabido, los ángulos se miden en grados. El ángulo de un círculo mide 360° y el recto 90°. Para medir ángulos menores que un grado se utilizan los minutos, que son la sexagésima parte de un grado, y después los segundos (segundos de arco, que no deben confundirse con los de tiempo), que son la sexagésima parte de un minuto. Las estrellas están tan lejos que sus ángulos de paralaje son fracciones de segundos de arco.

conquista relativamente reciente, y sólo a principios del siglo XIX el perfeccionamiento de los instrumentos permitió medir con una precisión aceptable las distancias a algunas estrellas. La primera estrella cuya distancia se midió fue 61 *Cygni*, que el astrónomo F.W. Bessel determinó que era de unos 10 años luz. El método utilizado por Bessel fue el llamado de la paralaje anual, que sigue siendo el método básico para la medida de las distancias estelares.

LA PARALAJE ANUAL

El método de la paralaje es puramente geométrico y evita hacer hipótesis sobre los objetos cuya distancia se desea medir; basta simplemente medir un ángulo para determinar la distancia. Pero esta sencillez conceptual no va acompañada de la misma facilidad al efectuar las mediciones. En efecto, debido a las enormes distancias entre las estrellas y nosotros, los ángulos medidos son extremadamente pequeños y están en el límite de las posibilidades de los telescopios. Para tener una idea de esto, piénsese que el ángulo de la paralaje de la estrella más cercana, *Proxima Centauri*, en el sistema triple de Alfa *Centauri*,

La paralaje de la estrella 61 de la constelación del Cisne fue la primera en ser medida por Bessel en 1828. La paralaje que halló fue de 0,31 segundos de arco (el valor hoy aceptado es de 0,29, que corresponde a una distancia de 11,2 años luz).

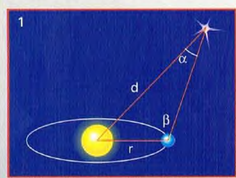
es inferior a un segundo de arco (0,76 para ser precisos), el ángulo bajo el que se vería una moneda de tamaño medio a la distancia de 10 km. Naturalmente, cuanto más lejos se mira, tanto menor es el ángulo.

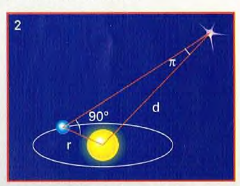
LOS ERRORES INEVITABLES

Debido al procedimiento que implica su definición, las paralajes están sujetas a errores, los cuales son mayores con el aumento de la distancia. Aunque con los telescopios actuales es posible medir ángulos de algunas milésimas de segundo de arco, a 30 años luz el error de medida es del orden del 7%, a 150 años luz del 35% y a 350 años luz del 70%. Es evidente que los errores grandes hacen inútiles estas mediciones. Sin embargo, de esta manera es posible medir, con una precisión aceptable, la distancia de algunos miles de estrellas situadas hasta unos 50 años luz de nosotros. Sólo en nuestra galaxia hay cerca de cien mil millones de estrellas en una estructura de cien mil años luz de diámetro. El catálogo de las paralajes más completo es el editado por Walter Gliese en 1978, que contiene cerca de 2.000 estrellas en un radio de 40 años luz a nuestro alrededor. Pero actualmente se está preparando un nuevo catálogo, basado en las observaciones del satélite Hipparcos, que contendrá medidas de una precisión jamás alcanzada antes.

MEDIR LA PARALAJE

Para medir la paralaje de una estrella es necesario observar la estrella en cuestión desde dos puntos lo más alejados posible entre sí. El mejor procedimiento es aprovechar la traslación de la Tierra alrededor del Sol. En efecto, en seis meses, la Tierra recorre la mitad de su órbita, lo que permite observar el cielo desde dos puntos separados entre sí 300 millones de kilómetros (el diámetro de la órbita terrestre). En este caso, se habla de la paralaje anual. Desde estas dos posiciones opuestas se mide la diferencia aparente de posición de la estrella observada respecto a la de las estrellas del fondo, mucho más lejanas. La mitad del ángulo medido es el de la paralaje, que corresponde al ángulo bajo el cual se ve, desde la estrella, el radio de la órbita terrestre.





En el dibujo 1 α es el ángulo bajo el cual se ve, desde una estrella determinada, el semieje mayor de la órbita terrestre; α varía con la traslación de la Tierra alrededor del Sol y es máximo cuando el ángulo β es de 90° (dibujo 2). En este caso α se indica como π.

LA PARALAJE SECULAR

Existen algunas variantes en el método de la paralaje anual: una de ellas es la llamada paralaje secular. Aprovecha el movimiento del Sol y, por tanto, de todo el sistema solar, que se efectúa en la dirección de la constelación de Hércules a la velocidad de 20 km/s aproximadamente. Este movimiento en el espacio permite obtener, para la medición de la paralaje, una base de medida muy grande, tanto mayor cuanto más tiempo se deja transcurrir. En 10 años, la base es unas 40 veces mayor que la que se obtiene con el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. Luego se aplica el método trigonométrico habitual y se calcula la distancia a la estrella deseada.

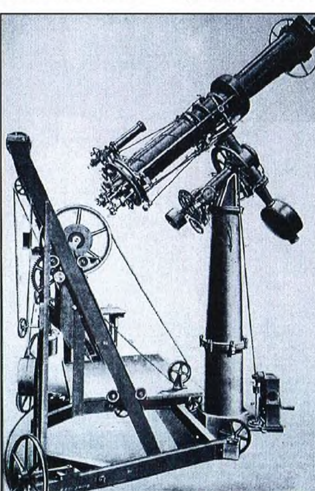
El efecto de la paralaje puede observarse incluso en la vida diaria. Por ejemplo, al dar vueltas en automóvil por una plaza que tenga una estatua en su centro, parece que ésta se desplace respecto a los edificios del fondo.



LOS CÚMULOS ESTELARES

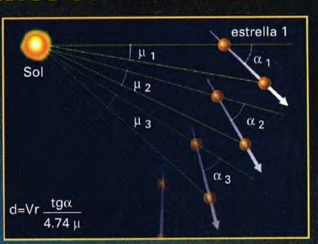
Los cúmulos estelares, sobre todo los abiertos, tienen una importancia fundamental en la medición de las distancias. Las estrellas de un cúmulo están relativamente próximas entre sí; en cualquier caso, sus distancias recíprocas son despreciables en comparación con la distancia a la que el cúmulo mismo está

Abajo, dibujo del antiguo heliómetro de Repsold en Hamburgo. Se trata de un telescopio refractor, utilizado para determinar la posición de una estrella.



MÉTODO DE LOS PUNTOS CONVERGENTES

Todas las estrellas se mueven por el espacio, aunque no es fácil darse cuenta de esto debido a su lejanía. Observando un cúmulo abierto relativamente próximo es posible ver que todas las estrellas que lo componen parecen moverse, debido a un efecto de perspectiva, hacia un punto común llamado punto de convergencia. Es posible hallar la distancia (d) a una estrella midiendo tres magnitudes de la estrella en cuestión: el movimiento propio μ (el ángulo que recorre en el firmamento en un año, a causa de su movimiento), el ángulo α entre la dirección en que vemos la estrella y la dirección de su desplazamiento, y la velocidad radial Vr (es decir, la velocidad de la estrella en la dirección estrella-observador). Las velocidades radiales se miden con métodos espectroscópicos. Aplicando el mismo procedimiento a muchas estrellas del cúmulo, se puede calcular una media que sirve para reducir los errores de medida y hallar la distancia del cúmulo.



El cúmulo abierto de las Híades, en la constelación de Tauro, ha tenido un papel fundamental en la medida de las distancias a las estrellas. Este cúmulo está situado a unos 150 años luz de nosotros.
Abajo, el cúmulo abierto de las Pléyades, en la constelación de Tauro, es uno de los objetos más fascinantes de la bóveda estelar. La distancia a este cúmulo se estima en unos 400 años luz y sus estrellas tienen una edad del orden de 20 millones de años.

situado respecto a la Tierra. Esto significa que podemos suponer que todas las estrellas de un cúmulo están a la misma distancia de nosotros y que, por tanto, midiendo la distancia a una sola de ellas se obtiene también la distancia a todas las demás. Por otra parte, los cúmulos, al estar formados por numerosas estrellas, se prestan a la aplicación de métodos de medición estadísticos que permiten reducir los errores.

LOS PUNTOS CONVERGENTES

Un método muy utilizado para medir la distancia a los cúmulos es el llamado de los puntos convergentes. Se basa en el hecho de que, observando durante largo tiempo las estrellas de un cúmulo abierto, se percibe que todas parecen moverse hacia un punto común, llamado punto de convergencia. Mediante medidas muy precisas de ángulos y de velocidades radiales (es decir, las velocidades de aproximación o de alejamiento que tienen las estrellas respecto a la Tierra), es posible calcular la distancia del cúmulo. Este método presenta un error de medida que es, aproximadamente, del 15% a 1.500 años luz y no es utilizable a distancias mayores de 15.000 años luz.

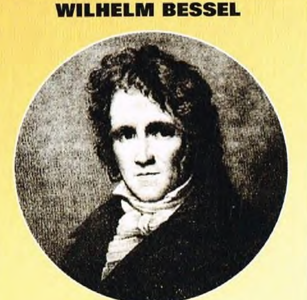
CADA VEZ MÁS LEJOS

Hay otros métodos para medir distancias en el firmamento, métodos que se basan en principios distintos de los que se han expuesto. Sin embargo, estos métodos están dispuestos como los peldaños de una escalera altísima, cada uno de los cuales sirve de base a los siguientes, que van avanzando cada vez más lejos.



PERSONAJES

WILHELM BESSEL



1784 - 1846

En 1838, Wilhelm Bessel publicó la primera medida de la paralaje correspondiente a la estrella 61 *Cygni*. En realidad, el año anterior, Friedrich Struve había medido la paralaje de la estrella Vega, pero no la publicó porque tenía poca confianza en la fiabilidad de su medida, que ha resultado ser muy buena.

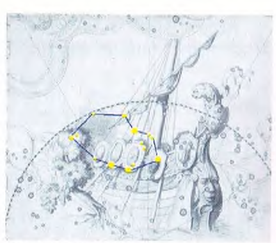
DATOS

LAS DIEZ ESTRELLAS MÁS PRÓXIMAS A LA TIERRA	PARALAJE	DISTANCIA EN AÑOS LUZ
SOL	150 millones de km*	8 minutos luz
α CENTAURI	0,760″	4,3
ESTRELLA DE BARNARD	0,552″	5,9
WOLF 359	0,431″	7,6
BD +36° 2147	0,402″	8,1
SIRIO	0,377″	8,6
LUYTEN 726-8	0,365″	8,9
ROSS 154	0,345″	9,4
ROSS 248	0,317″	10,3
ε ERIDANI	0,305″	10,7

* Para el Sol, a diferencia de las demás estrellas, es posible dar la distancia en km.

LA VELA

Según una clasificación anterior, la Vela formaba parte de una gigantesca constelación del cielo austral, Argo Navis, actualmente dividida en cuatro constelaciones más pequeñas.



Esta antigua ilustración muestra una imagen de la mítica nave Argos; en su interior sólo se han representado las estrellas de la Vela.



La impresionante nebulosa de Gum se considera como un resto de supernova, es decir, la reliquia de una estrella que estalló al final de su vida.



Junto con la Quilla, la Popa y la Brújula, en la clasificación anterior a la efectuada en los años treinta por la Unión Astronómica Internacional la Vela formaba parte de la constelación *Argo Navis*, ligada a la leyenda de Jasón y los argonautas.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

La constelación de la Vela está cerca de las que antiguamente estaban reunidas en la de *Argo Navis*.

Teniendo el norte a la espalda, la Vela se encuentra a occidente de Centauro. Además, las estrellas Beta y Delta *Crucis* indican aproximadamente la más luminosa de la Vela, Gamma.

ESTRELLAS NOTABLES

La constelación de la Vela carece de las estrellas Alfa y Beta, porque nació de la desmembración de otra constelación.

La estrella más luminosa es Gamma, un astro muy interesante: observada con prismáticos, revela su duplicidad. Las dos componentes son de magnitud 1,8 y 4,3. La más luminosa pertenece a un tipo particular de estrellas, conocidas como estrellas de Wolf-Rayet, nombre de los dos astrónomos que las estudiaron por primera vez. Se trata de unas estrellas jóvenes que emiten grandes cantidades de gases, expulsados de su superficie por intensos vientos estelares, tan fuertes, que muchas de estas estrellas están rodeadas de nubes visibles con telescopios grandes. La componente principal de Gamma *Velorum* es la más luminosa de esta categoría.

Otras estrellas dobles son Delta, cuyas componentes tienen magnitudes 2,1 y 5,1, pero se necesitan telescopios de 15 cm de apertura para resolverlas, y Psi, con componentes de magnitudes 4,1 y 4,6.

OBJETOS DE LA VELA

El objeto más notable de la Vela es una amplia pero débil luminosidad, visible en fotografías de larga exposición. Este objeto se conoce como nebulosa de Gum, nombre del astrónomo estadounidense que la estudió. Se piensa que los tenues filamentos de gas que la componen son el resultado de una supernova que acaeció hace miles de años. Esta hipótesis se confirma por la presencia de un púlsar, un objeto rotatorio colapsado rápidamente que emite un haz de luz y de radioondas. Gracias a la rotación de la fuente, el haz se ve como el destello de un faro, por lo que la estrella parece pulsar. Estos objetos son los residuos típicos de la explosión de estrellas que han llegado al final de su vida. El pulsar de la Vela efectúa 11 revoluciones sobre sí mismo en un segundo.

La constelación también contiene varios cúmulos abiertos, entre los cuales destaca NGC 2547. Se trata de un objeto celeste perceptible a simple vista, pero que requiere el empleo de al menos unos prismáticos para distinguir las estrellas que lo componen.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

LA VELA

La constelación de la Vela representa las velas de la nave Argos, la mítica embarcación en que partió Jasón en compañía de unos cincuenta héroes griegos, entre los que figuraban Cástor, Pólux, Hércules y el cantor Orfeo, para apoderarse del no menos mítico vellocino de oro.

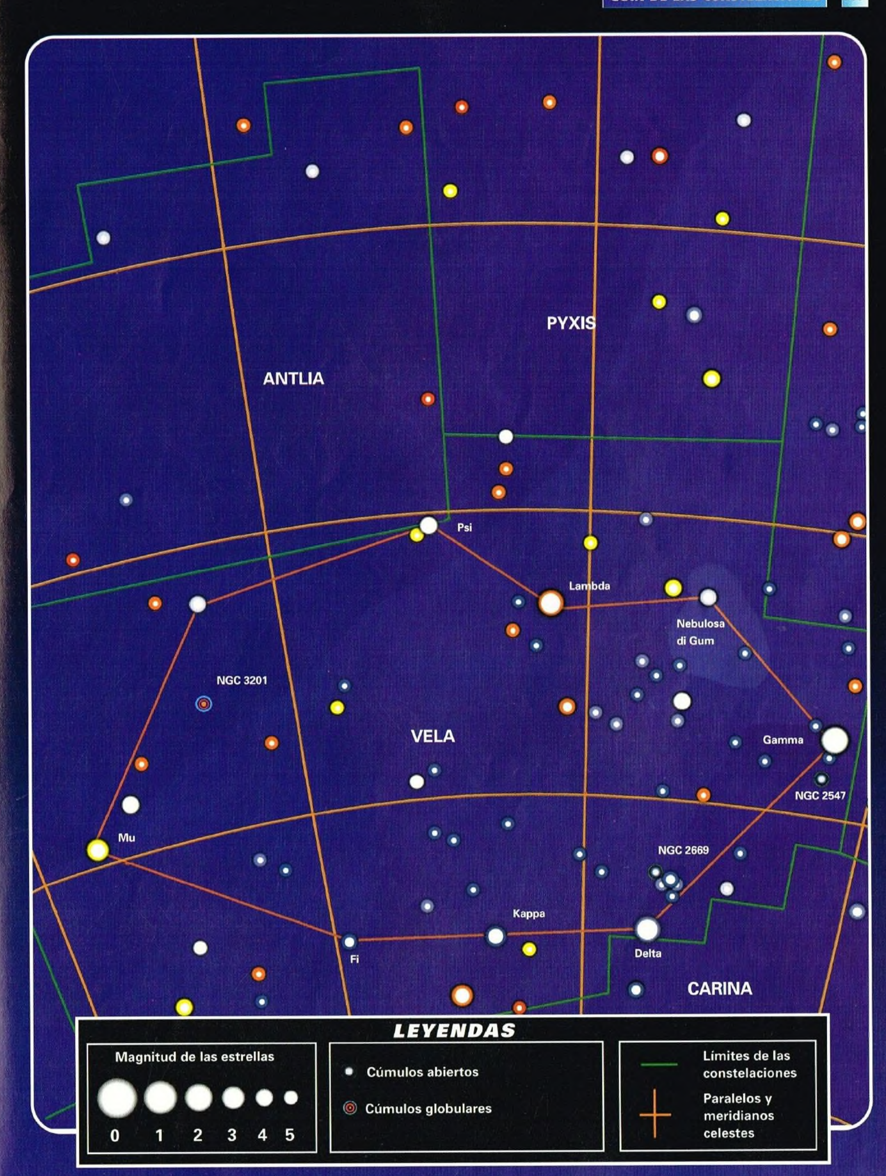
La leyenda cuenta que Argos era la mejor nave jamás construida en la Antigüedad, pero para botarla fue necesario el melodioso canto de Orfeo, porque había quedado varada en tierra firme sin que la fuerza de los argonautas, a pesar de ser enorme, pudiese moverla.

DÓNDE BUSCARLA

LA VELA

La constelación de la Vela abarca una región del cielo comprendida entre 37° S y 57° S de declinación, y entre 8 horas y 11 horas 5 minutos de ascención recta. Es íntegramente visible todo el año desde latitudes más al sur de 53° S, y parte del año desde la zona situada entre 53° S y 33° N. Más al norte de 33° N sólo es posible verla en parte.

La Vela se encuentra en oposición al Sol hacia mediados de febrero, período en el cual resulta claramente observable durante toda la noche, transitando hacia el sur a medianoche.


PYXIS
ANTLIA
Psi
Lambda
Nebulosa di Gum
NGC 3201
VELA
Gamma
NGC 2547
Mu
NGC 2669
Kappa
Fi
Delta
CARINA
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos abiertos
Cúmulos globulares
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

ARIANE, EL LANZADOR EUROPEO

Los cohetes Ariane han permitido a Europa ocupar una posición de vanguardia en la carrera por la exploración del espacio y han demostrado que la cooperación europea puede dar buenos frutos.



El 50% de todos los satélites lanzados al espacio han sido puestos en órbita por un solo tipo de cohete lanzador: este ocupadísimo cohete no es un Atlas de la NASA ni un Proton ruso, sino el Ariane 4, el cohete europeo. Y, con el desarrollo del Ariane 5, diseñado originariamente para poner en órbita vehículos espaciales pilotados, Europa alcanzará un papel predominante en la exploración y el uso del espacio durante el siglo XXI.

El éxito de la serie de cohetes Ariane se vio empañado por un espectacular fallo. El 5 de noviembre de 1971, el lanzamiento inaugural del cohete Europa II terminó con su caída al mar sólo dos minutos y medio después del despegue. Este doloroso accidente motivó una importante remodelación de la estrategia de gestión de la industria espacial europea.

UNA NUEVA AGENCIA

Durante el año siguiente, los diversos gobiernos europeos y las empresas aeroespaciales se reunieron varias veces para discutir cuál era la mejor manera de proceder. El 31 de julio de 1973, los ministros de 10 países acordaron fundar la Agencia Espacial Europea, la ESA (European Space Agency), nacida de la fusión de las dos entidades entonces existentes: la European Launcher Development Organization (ELDO), organización para el desarrollo de un lanzador europeo, y la European Space Research Organization (ESRO), organización para la investigación espacial europea. Además, los diversos gobiernos acordaron abandonar el programa Europa en favor de un cohete de nueva generación, llamado en aquella época LS3 (Third Generation Substitute Launcher, o lanzador sustituto de tercera generación), que más tarde se conoció con el nombre de Ariane.

Sin embargo, esta estrategia de gestión no gozaba de unanimidad. En efecto, había quien sostenía que un pequeño cohete como el Ariane llevaba 20 años de retraso respecto a los competitivos modelos no europeos, y que quedaría rápidamente obsoleto en el momento en que entrara en servicio el transbordador espacial de la NASA. Los defensores del Ariane replicaron que el programa iba a significar el despegue

LA BASE DE LANZAMIENTO DE KOUROU

La base de lanzamiento del Ariane, en Kourou (Guayana Francesa), presenta muchas ventajas respecto a otras instalaciones. Como la base se extiende frente al océano Atlántico, sobre una franja de costa de 50 km, los lanzamientos son muy seguros en cualquier ángulo comprendido entre el norte y el este. Además, el área que la rodea está poco poblada, no es una zona sísmica y no está azotada por huracanes. La latitud de Kourou es de 5° 14′ al norte del ecuador. Esto significa que los satélites alcanzan fácilmente una órbita geoestacionaria. Esta situación permite que los cohetes vectores aprovechen al máximo las ventajas de la rotación terrestre.

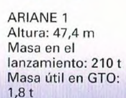


El Ariane 4 despega de la base de Kourou.

UNA FAMILIA DE LANZADORES

El desarrollo de los cohetes del lanzador Ariane ha permitido la puesta en órbita geoestacionaria de transferencia (GTO) de cargas útiles cada vez más pesadas. El cohete Ariane 4 ha colocado en órbita más del 50% de los satélites comerciales de todo el mundo.

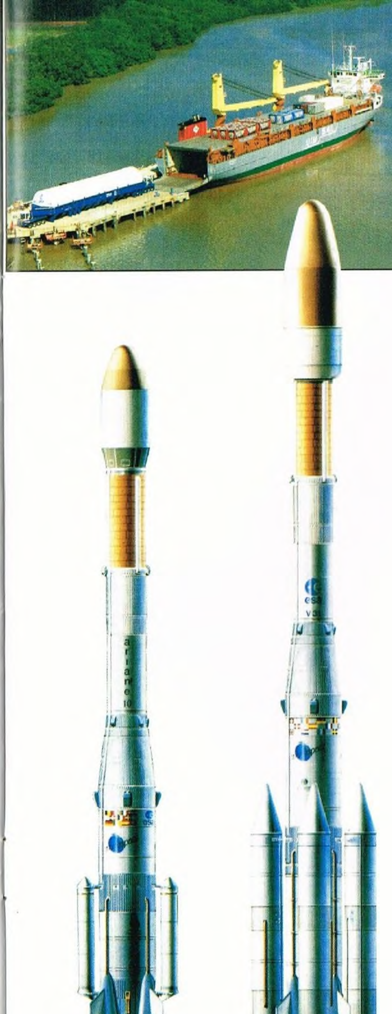




ARIANE 1
Altura: 47,4 m
Masa en el lanzamiento: 210 t
Masa útil en GTO: 1,8 t



ARIANE 2
Altura: 49 m
Masa en el lanzamiento: 217 t
Masa útil en GTO: 2,2 t



Las diversas partes del cohete Ariane, como esta sección del Ariane 5, se construyen en Europa, pero se ensamblan al otro lado del océano Atlántico, junto a la base de lanzamiento de Kourou (Guayana Francesa). La partes de los cohetes se transportan a América del Sur en avión o en barco, se descargan en Cayena y se llevan por carretera hasta Kourou.

NOMBRE DE BAUTISMO: ARIANE

El nombre Ariane se eligió de entre una lista de casi 200. La mayor parte de los nombres se basaban en personajes de la antigua mitología y, finalmente, se seleccionó una panoplia de tres candidatos: Penelope (Penélope, la paciente esposa de Ulises), Phoenix (Fénix, la mítica ave que resurgía de sus propias cenizas) y Ariana (Ariane en francés, la princesa cretense que ayudó a Teseo a salir del laberinto). Durante la reunión final se descartó Penelope porque evocaba la idea de una espera interminable y de continuos retrasos. Phoenix también se descartó porque recordaba la manera en que la ESA nació de las cenizas de la ELDO, de muy mal recuerdo. En cambio, Ariane no tenía connotaciones negativas y podía pronunciarse más o menos de la misma manera en todas las lenguas de los estados miembros de la agencia. Por tanto, fue el nombre vencedor.

de la tecnología espacial europea y que le permitiría el acceso al espacio de manera autónoma e independiente, sin necesidad de tener que recurrir a los lanzadores estadounidenses para poner en órbita satélites europeos.

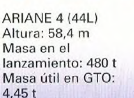
NACE EL ARIANE

En 1977 se propuso la creación de una empresa privada para vender los lanzamientos del Ariane en el momento en que fuese operativo. Los estados miembros acordaron que los objetivos de la ESA tenían que ser la investigación y el desarrollo, y no las empresas comerciales. Por tanto, en marzo de 1980, apenas cuatro meses después del vuelo inaugural del Ariane 1, el primer lanzador de la serie Ariane, se fundó la compañía Arianespace.

El Ariane 1 era un cohete de tres etapas capaz de poner en órbita geoestacionaria un satélite de una tonelada de peso. Las dos primeras etapas utilizaban propulsantes sólidos, mientras que la tercera recurría al oxígeno e hidrógeno líquidos.

A pesar de una avería que se produjo en la primera etapa, durante el segundo vuelo de prueba que se efectuó en mayo de 1980, la ESA decidió en julio siguiente desarrollar los modelos Ariane 2 y 3, de más potencia. Estos lanzadores eran versiones mejoradas del Ariane 1 y se caracterizaban por tener unos motores más potentes. El Ariane 2 era idéntico al Ariane 3, con la única diferencia que no disponía de cohetes de empuje de propulsante sólido montados a los lados.

ARIANE 3
Altura: 49 m
Masa en el lanzamiento: 240 t
Masa útil en GTO: 2,7 t



ARIANE 4 (44L)
Altura: 58,4 m
Masa en el lanzamiento: 480 t
Masa útil en GTO: 4,45 t



ARIANE 5
Altura: 45-55,4 m
Masa en el lanzamiento: 750 t
Masa útil en GTO: 6,8 t

EL ARIANE 4

El acontecimiento más importante en la marcha del programa Ariane hacia una posición de preeminencia mundial tuvo lugar en enero de 1982, cuando la ESA decidió lanzar el Ariane 4. El nuevo cohete no sólo era más potente que sus predecesores, sino también más polivalente con sus seis versiones diferentes.

El modelo de base Ariane 4 era el menos potente del grupo, capaz de colocar una carga útil de dos toneladas en órbita de transferencia geoestacionaria (GTO). Los cohetes del tipo Ariane 4 tienen una órbita con un perigeo (el punto más bajo) de unos 200 km y un apogeo (el punto más alto) de unos 36.000 km. Desde este último punto, los satélites se mueven con motores de cohete propios por una órbita circular geoestacionaria situada a 36.000 km por encima del ecuador.

Las otras versiones del Ariane 4 están equipadas con varias combinaciones de cohetes de propulsante sólido o líquido, instalados a cada lado del cohete principal. Los lanzadores dotados de cohetes de propulsante sólido son el modelo 42P (con dos cohetes a los lados) y el 44P (con cuatro cohetes). También existen dos versiones con cohetes de propulsante líquido: el 42L, con dos cohetes, y el 44L, con cuatro. La última versión, el 44LP, está equipada con dos cohetes exteriores de propulsante sólido y dos que utilizan combustibles líquidos.

EL ARIANE 5

El Ariane 5 reemplazará al Ariane 4, menos potente, antes de finalizar los años noventa. Este cohete más potente será necesario para

Los lanzamientos del Ariane se controlan desde Kourou. Los operadores representan sólo una mínima parte de los 1.300 empleados de la ESA en Kourou.



A la derecha, este dibujo ilustra cómo debería haber sido la puesta en órbita de los dos primeros satélites Cluster por el Ariane 5. Sin embargo, el lanzamiento, efectuado el 4 de junio de 1996, falló, provocando la destrucción del lanzador y de los satélites, destinados al estudio del campo magnético terrestre. ¿Se reemprenderá el proyecto Cluster?



EL ARIANE 5

El cohete Ariane 5 está compuesto por dos secciones principales: la inferior lleva el sistema de propulsión (conocido también como conjunto inferior) y la superior se dedica al transporte de la carga útil (conjunto superior). El sistema propulsor es único y se empleará en todas las misiones, mientras que la parte superior podrá adaptarse a misiones específicas. La ilustración muestra la configuración propuesta para el primer lanzamiento operativo del Ariane 5, desafortunadamente fallido.

El par de satélites Cluster

Estructura del vector de múltiple lanzamiento (SPELTRA)

Cubierta disponible en dos tamaños diferentes, según la carga útil

Etapa de propulsante conservable o L9. Lleva 9,7 toneladas de propulsante convencional y es impulsado por un motor capaz de generar un empuje de 2,8 toneladas

Cohete impulsor con propulsante sólido. Cada cohete tiene una masa de 30,6 toneladas en vacío y contiene 236,5 toneladas de granos (una mezcla de propulsantes sólidos)

Etapa criogénica principal, capaz de llevar un total de 156,2 toneladas de hidrógeno y oxígeno líquidos (25,6 t de hidrógeno líquido y 130,6 t de oxígeno líquido)

El cohete Vulcain, alimentado por una turbobomba de oxígeno líquido que funciona a 13.000 r.p.m., y una turbobomba para el hidrógeno líquido que funciona a 34.200 r.p.m.

Motor de propulsante sólido



Técnicos acoplando un cohete impulsor de propulsante líquido a un lanzador Ariane 44L. Es una de las operaciones que se efectúan durante las fases de preparación del lanzamiento.



PERFIL DE LANZAMIENTO DEL ARIANE 5

Las operaciones preliminares para el lanzamiento de un Ariane 5 empiezan cinco semanas antes del despegue. En este lapso de tiempo se ensamblan las partes del cohete y se prepara la zona de lanzamiento. Ocho horas antes del despegue, el cohete se transporta a lo largo de 2,8 km hasta la zona de lanzamiento.

poner en órbitas GTO la próxima generación de satélites pesados para comunicaciones. El Ariane 5 podrá llevar a estas órbitas un satélite de 6,8 toneladas de peso o dos cargas diferentes de una masa total de 5,9 toneladas. Sin embargo, este lanzador también podrá efectuar otro tipo de misiones, como el transporte de cargas de 20 toneladas o módulos con pasaje humano a la prevista estación espacial Alfa, o poner en órbita de transferencia lunar un satélite de 4,5 toneladas.

Desafortunadamente, el primer lanzamiento operativo del Ariane 5, efectuado el 4 de junio de 1996, falló y el vector explosionó casi un minuto después de su lanzamiento por un problema en los motores. Esto convirtió en humo la carga científica, que consistía en cuatro satélites llamados Cluster (grupo), destinados al estudio de las auroras polares y las tormentas magnéticas terrestres. Sin embargo, la ESA seguirá adelante con el programa y ya está contemplando futuras versiones del Ariane 5. En 2001, deberá convertirse en un lanzador más potente y económico que la versión actual: esta versión potenciada podrá llevar a una órbita GTO una carga máxima de 7,4 toneladas.

El Ariane ha sido el lanzador de la sonda astronómica Giotto de la ESA (que se acercó al cometa Halley en 1986), del satélite de teledetección ERS-1 y de cargas lanzadas por algunos gobiernos europeos, como el satélite espía francés Helios.

DATOS

ARIANE 5

Primer lanzamiento operativo: 4 junio 1996 (fallido)
Longitud (comprendidos cohetes impulsores): 11,55 m
Altura: 45-55,4 m
Empuje: motor Vulcain 114-120 t; cohetes impulsores de propulsante sólido de 540 t cada uno; etapa de propulsante conservable 2,8 t
Masa en el despegue: 750 t
Masa de la carga útil puesta en GTO: lanzamiento simple 6,8 t; lanzamiento doble 5,9 t
Masa de la carga útil puesta en órbita terrestre baja: 18 t



El Ariane 5 está diseñado para lanzar cargas útiles pilotadas y no pilotadas, incluido el transbordador espacial reutilizable Hermes, que se muestra en el dibujo. Sin embargo, en 1992, el proyecto Hermes fue cancelado y no se han previsto misiones del Ariane 5 que lleven vehículos pilotados.

SATÉLITES ASTRONÓMICOS

En el pasado, el estudio del cielo siempre se había efectuado con telescopios. Con el advenimiento de la era espacial ha sido posible enviar instrumentos fuera de la atmósfera terrestre y observar el cosmos en otras bandas de longitud de onda.



La mayor parte de los cuerpos celestes que conocemos revela su existencia con la emisión de radiaciones electromagnéticas de diferente naturaleza. Naturalmente, las características de las radiaciones que observamos, como la longitud de onda y la energía, están determinadas por las condiciones físicas y la naturaleza del cuerpo que las emite. Por este motivo, hay objetos estelares que emiten radiaciones principalmente en la banda visible del espectro electromagnético, otros (radiogalaxias) que emiten radioondas, y algunos (púlsares, supernovas, núcleos galácticos activos) que emiten radiaciones de alta energía, como los rayos X o los rayos gamma. Finalmente, los hay que pueden emitir al mismo tiempo en varias de estas bandas. En este caso, poder detectar los diferentes tipos de radiación es importante para determinar las características de las fuentes celestes y comprender su naturaleza.

Comparativamente, sería como estudiar las características de un objeto observándolo en una imagen en color en lugar de hacerlo en una en blanco y negro.

¿POR QUÉ OBSERVAR DESDE EL ESPACIO?

Observar en estas regiones del espectro electromagnético es más complicado. En primer lugar, el ojo humano sólo es sensible a las radiaciones emitidas en la banda óptica y, por tanto, para observar una radiación emitida en otras bandas es necesario emplear detectores artificiales. En segundo lugar, y con carácter general, existen unas restricciones muy concretas de carácter ambiental.

En efecto, la Tierra posee una atmósfera que actúa como un filtro selectivo frente a las radiaciones electromagnéticas procedentes del espacio y, por tanto, no todas logran llegar a su superficie. Por ejemplo, la atmósfera terrestre es transparente a las radioondas y a la luz visible, pero resulta completamente opaca a las radiaciones de energía más elevada, como los rayos ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma. Y hay que decir que afortunadamente, porque la exposición prolongada a estas últimas radiaciones es letal para el hombre.



A la derecha, técnicos y científicos de la NASA someten a control partes de la sonda Pioneer VIII, lista para la tercera serie de lanzamientos interplanetarios destinados a orbitar el Sol.

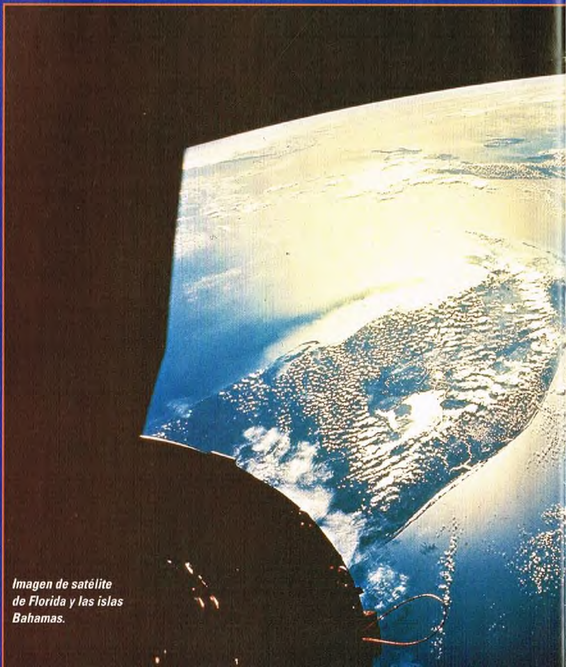
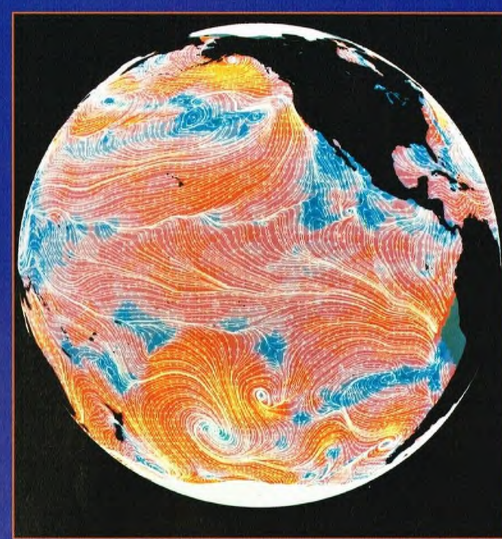


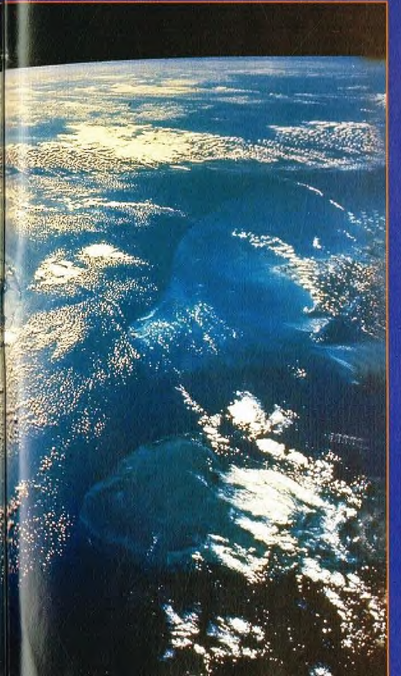
Imagen de satélite de Florida y las islas Bahamas.

En particular, los rayos ultravioleta y los rayos X interactúan con la atmósfera –lo que provoca la escisión de átomos y moléculas de gas– y su intensidad se atenúa progresivamente de manera muy rápida. En cambio, los rayos gamma se materializan en pares de partículas y antipartículas. Por tanto, la observación en estas bandas del espectro electromagnético no se puede efectuar desde la Tierra, sino tan sólo desde cotas altas, donde la atmósfera está más enrarecida, o desde el exterior de la atmósfera. En consecuencia, los astrónomos obtienen del espacio observaciones imposibles de lograr desde la Tierra.

EL NACIMIENTO DE LA ASTRONOMÍA ESPACIAL

Hay casos en los que se prefiere que algunas observaciones se realicen por medio de satélites, ya que, a pesar de ser perfectamente factible hacerlas desde tierra, proporcionan mejores resultados desde el espacio. Éste es el caso, por ejemplo, del telescopio espacial Hubble, el cual, a pesar de ser más pequeño que sus «colegas» terrestres, ofrece unas prestaciones muy superiores. En efecto, las imágenes tomadas desde el espacio no sufren la degradación producida por la atmósfera y, además, las observaciones no están condicionadas por las malas condiciones meteorológicas (lluvia, viento), la contaminación atmosférica, etc. De la misma manera, las observaciones en la banda infrarroja, si se hacen desde la Tierra, acusan muchísimo el ruido de fondo originado por nuestra atmósfera. Las señales espúreas procedentes de las telecomunicaciones terrestres, de los satélites artificiales, de los teléfonos celulares, de los radares militares y civiles, etc., hacen difícil captar eventuales emisiones radio procedentes de fuentes espaciales.





Arriba, dirección de los vientos terrestres señalada por el satélite Seasat. Abajo, el satélite francés Eole, lanzado en 1971 con la misión de retransmitir datos de 500 globos meteorológicos que observaban las partes superiores de la atmósfera.

Obviamente, para poder efectuar observaciones fuera de la atmósfera, los instrumentos necesarios deben montarse a bordo de cohetes estratosféricos o de satélites que hay que poner en órbita alrededor de la Tierra. Por este motivo, la astronomía en otras longitudes de onda sólo ha podido nacer y desarrollarse con el advenimiento de la era espacial. Hace unos 40 años, las observaciones de los astrónomos se hacían exclusivamente



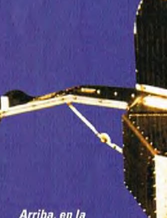


desde la Tierra con los telescopios normales y estaban limitadas a la banda óptica del espectro. El período comprendido entre los años cincuenta y sesenta representó el inicio de este gran desarrollo, debido al nacimiento de la astronáutica y de la astronomía espacial. En 1957, la Unión Soviética lanzó al espacio el satélite Sputnik y, en abril de 1961, el coronel soviético Gagarin fue el protagonista del primer vuelo orbital alrededor del planeta. Paralelamente, en Estados Unidos se estaban desarrollando proyectos análogos, como las cápsulas Mercury. Casi al mismo tiempo empezaron los primeros intentos de observaciones astronómicas de alta cota, utilizando detectores montados a bordo de globos sonda, o desde fuera de la atmósfera terrestre, a bordo de cohetes. Se trataba todavía de instrumentos bastante rudimentarios: en muchos casos eran lanzadores derivados de las V2, las famosas bombas volantes utilizadas por los alemanes durante la segunda guerra mundial.

Arriba, detección de la situación de las nubes efectuada por el satélite NOAA.

EL DESARROLLO DE LA ASTRONOMÍA ESPACIAL

Sin embargo, los primeros descubrimientos no se hicieron esperar mucho. En 1962, un grupo de investigadores del Massachusetts Institute of Technology, dirigidos por los italianos Guido Rossi y Riccardo Giacconi, utilizando un contador Geiger montado en un cohete, descubrieron una intensa emisión de rayos X procedente de una ignorada fuente exterior al sistema solar en dirección a la constelación de Escorpión (Sco X-1). Este descubrimiento marcó una etapa importante en la historia de la astronomía, porque fue el primer caso en que un objeto celeste era identificado mediante su emisión en una banda del espectro, la de los rayos X, diferente de la óptica. Este resultado animó a los astrónomos a diseñar y realizar nuevas misiones dedicadas también a los rayos gamma, a los rayos ultravioleta y al infrarrojo, pero sin utilizar cohetes, sino satélites en órbita alrededor de la Tierra para poder observar el cielo durante un tiempo mucho más largo.

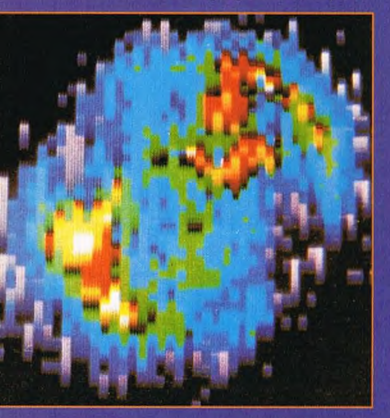




Arriba, en la imagen fotográfica se ve un satélite de la familia OSO (Orbiting Solar Observatory), proyectado para el estudio del Sol y la detección de datos sobre la influencia que ejerce sobre nuestro planeta.

La posibilidad de efectuar observaciones en varias longitudes de onda desveló a los ojos de los astrónomos un universo hasta entonces ignorado y permitió descubrir algunos de los objetos más interesantes hoy conocidos.

Después de los satélites orbitales vinieron las sondas interplanetarias utilizadas para la exploración del sistema solar: las de las series Pioneer y Voyager y la reciente sonda Galileo. En cambio, otras, como las sondas Venera (Venus), Viking y Mariner (Marte) o Cassini (Saturno), se han dedicado al estudio de un determinado planeta, del Sol (Ulises) o de cuerpos menores, como los cometas (Giotto). Los datos transmitidos por estas sondas han sido fundamentales para aumentar los conocimientos sobre nuestros compañeros de viaje, y el nacimiento y la evolución de nuestro sistema solar. La realización de una misión no sólo significa diseñar un instrumento para colocarlo en órbita, sino que exige considerar los difíciles compromisos entre las exigencias científicas y los vínculos técnicos que determinan su factibilidad.



A la izquierda, el espectroheliógrafo del OSO 7 detecta una tormenta solar. Las zonas blancas señalan las áreas de actividad más intensa; las amarillas y rojas, las de actividad inferior.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

EL PLANETA DE LOS ANILLOS

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LA GALAXIA DE ANDRÓMEDA

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

EL BOYERO

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LOS ESTADOS DE LA MATERIA

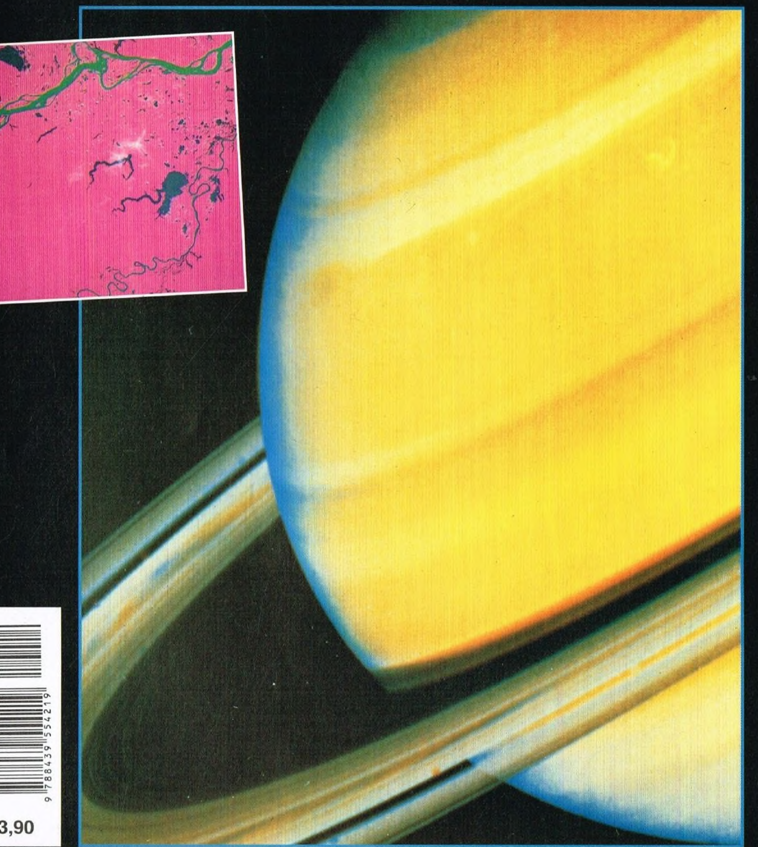
EL USO DEL ESPACIO

MISIÓN PLANETA TIERRA

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

14



$ 3,90

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

EL PLANETA DE LOS ANILLOS

Saturno, el más exterior de los planetas visibles a simple vista, posee espectaculares anillos muy luminosos formados por partículas de hielo.



Saturno es seguramente el más bello y espectacular de todos los planetas.

El color, tendente al amarillo, y sobre todo los anillos, lo convierten en uno de los objetos astronómicos más observados. Con un telescopio no particularmente potente o con un anteojo es posible observar este planeta único, el segundo en tamaño del sistema solar después de Júpiter. Saturno es, además, el único planeta que posee una densidad media inferior a la del agua; si se pudiera encontrar un océano de tamaño suficiente, Saturno flotaría sobre su superficie.

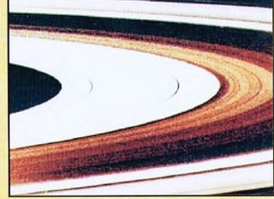


Imagen en colores artificiales de los anillos B y C, y de la división de Cassini (parte interior).

OBSERVACIONES HISTÓRICAS

Saturno es el último de los planetas visibles a simple vista. El primero que lo observó con un instrumento fue Galileo, en 1610, quien también se dio cuenta de que en los lados del disco había dos cuerpos más pequeños, que desaparecieron en los años siguientes para reaparecer más tarde con una forma ligeramente distinta.

Hubo que esperar hasta 1656 para que Huygens explicara la verdadera naturaleza de aquellos cuerpos al suponer la existencia de un anillo inclinado con respecto al planeta. Huygens, en efecto, logró observar una sombra en el planeta; dado que el momento era favorable, consiguió determinar la naturaleza circular y única de los dos cuerpos observados por Galileo.

Hasta 1675, con Cassini, no se pudo distinguir dentro del anillo una división, que desde entonces recibe el nombre del astrónomo italiano. El mismo Cassini descubrió también las bandas horizontales que atraviesan el planeta y son absolutamente

En la imagen a toda página, una fotografía tomada por el Voyager 2 en la que aparecen algunos detalles de las regiones más superficiales de Saturno, como los sistemas de nubes de la parte alta del disco.

similares a las de Júpiter, aunque mucho menos marcadas y más tenues.

A fines del siglo XVII, los astrónomos estaban ya en condiciones de calcular con buena aproximación la velocidad de rotación de Saturno. Mediante un estudio basado en las características peculiares de las bandas, William Herschel logró obtener el valor de 10 horas 16 minutos, casi coincidente con el valor real de 10 horas 13 minutos.

GIGANTE GASEOSO

Saturno es el segundo de los cuatro gigantes gaseosos del sistema solar y posee la misma estructura que Júpiter; incluso los componentes principales son los mismos: hidrógeno y helio.

Como se ha indicado antes, una de las peculiaridades del planeta de los anillos es su bajísima densidad, la menor de todos los planetas. Una confirmación de esta característica viene dada por un detalle importante: la forma. Saturno aparece aplastado, con un notable abultamiento en el ecuador. El diámetro calculado de polo a polo es un 10% menor que el diámetro ecuatorial. En Júpiter, en cambio, la diferencia es del 6%. El aplastamiento muy acentuado es debido también a la velocidad de rotación diferencial: en los polos, esta velocidad es de 10 horas 38 minutos, mientras que en el ecuador es de 10 horas 13 minutos.

Saturno tarda 29,5 años en completar una vuelta alrededor del Sol; su distancia media al astro es de unas 9,5 u.a. (cerca de 1.400 millones de km), unas 9,5 veces la que separa la Tierra del Sol. A esta distancia llega sólo una pequeña cantidad de luz y calor, más de 90 veces inferior a la que llega a nuestro planeta.

LOS COLORES DE SATURNO

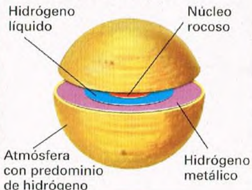
Pese a tener la misma estructura y una composición similar, los dos planetas

En este dibujo de la NASA se representa la sonda Cassini durante una de las maniobras que le permitirán ponerse en órbita alrededor de Saturno.

DATOS

SATURNO

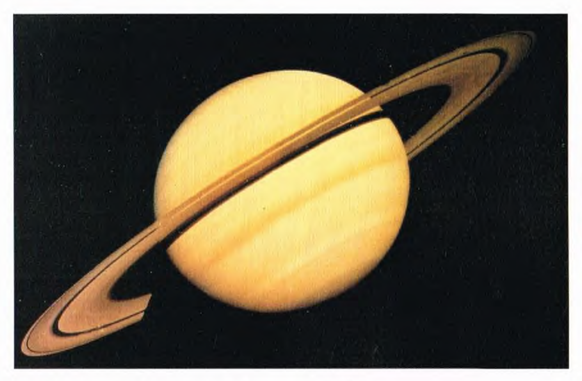
masa: $5{,}688 \times 10^{29}$ g
masa (Tierra = 1): 95,19
radio ecuatorial: 60.268 km
radio ecuatorial (Tierra = 1): 9,44
densidad media: 0,75 g/cm^3
densidad (Tierra = 1): 0,13
volumen (Tierra = 1): 761,446
período de rotación: 10 h 13 mn 23 s



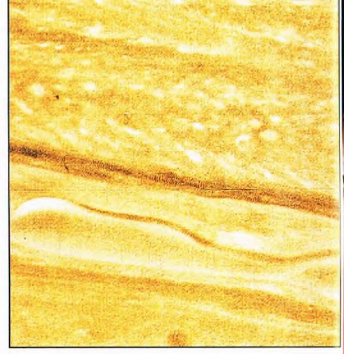
mayores presentan un aspecto distinto. En Saturno no se aprecian los colores violentos del hermano mayor Júpiter y el disco aparece con matices más tenues; incluso las bandas están menos marcadas, probablemente porque las formaciones nubosas son menos numerosas y más profundas. Además, la presencia de hidrocarburos en las capas superficiales contribuye a difuminar en mayor medida los colores de las bandas. Los colores de un planeta, en efecto, dependen de las sustancias que contiene; en el caso de Saturno, los colores dominantes son el blanco de las nubes de amoníaco y el ocre del hidrosulfuro de amonio

MILES DE ANILLOS

Las sondas han mostrado de modo irrefutable que alrededor de Saturno orbitan miles de anillos diversos, algunos muy grandes y otros muy pequeños. Parecen elípticos, pero en realidad tienen una forma circular; el error se debe a que nosotros observamos Saturno inclinado. Incluso con un telescopio de aficionado se puede ver la sombra que los anillos proyectan sobre el disco de Saturno.



Espléndida imagen de Saturno con los anillos que proyectan una sombra sobre el disco del planeta; se ven además las dos divisiones principales: la de Cassini y la de Encke.



Arriba, imagen de las regiones superficiales de Saturno. Los detalles tienen una resolución de sólo 60 km y muestran unas características similares a las de la superficie de Júpiter.

presente en las formaciones situadas debajo de las anteriores.

ESTRUCTURA INTERNA

El interior de Saturno debería parecerse al de Júpiter. Según el modelo actualmente más acreditado, el centro del planeta está formado por un núcleo rocoso en torno al cual se extiende una región de hidrógeno metálico líquido (en este estado el hidrógeno pasa a tener todas las propiedades de un metal). A su alrededor se extiende una capa de hidrógeno y helio moleculares que llega a las regiones inferiores de la atmósfera del planeta, la cual ocupa la región más externa de Saturno.

ATMÓSFERA

Al hablar de los planetas gaseosos siempre es difícil establecer dónde está la superficie y dónde comienza la atmósfera; por ello, suele considerarse como altura cero aquella en que la temperatura (como en la Tierra) sufre una inversión. Mientras que la temperatura normalmente disminuye con la altura, existe un nivel en el cual la absorción de las radiaciones solares por parte de los gases atmosféricos provoca un aumento de aquella magnitud; en el caso de Saturno, el elemento responsable del aumento de temperatura es el metano.

La atmósfera de Saturno está compuesta por un 96% de hidrógeno, un 3% de helio y un 0,4% de metano gaseoso; un centenar de kilómetros por debajo del nivel cero, en cambio, las temperaturas son lo bastante bajas y la presión es lo bastante elevada (aproximadamente 1 atmósfera) como para que se condense el amoníaco, que está presente en forma de nubes blanquecinas netamente observables.

Los estudios efectuados han puesto de manifiesto que Saturno emite más energía de la que absorbe del Sol, siendo la relación de dos a uno; la razón podría estribar en la compresión del helio en las regiones centrales. El calor generado de esta manera podría dar origen a movimientos convectivos, provocando dentro de la atmósfera corrientes cálidas ascensionales y corrientes más frías que se sumergen en las capas internas.

LOS VIENTOS

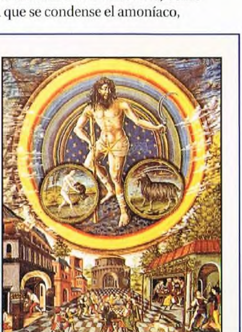
Mientras que en la Tierra el motor de la circulación atmosférica es la radiación solar (que determina una diferencia de temperatura entre los polos y el ecuador), en Saturno es la fuente interna de calor la que genera los mecanismos que llevan a la formación de los vientos; además, la rápida rotación, sólo superada por Júpiter, contribuye a agitar la atmósfera del planeta.

Dentro de la atmósfera se han medido vientos que pueden alcanzar los 1.800 km/h, una velocidad a la que ni siquiera los de Júpiter pueden llegar. Estos vientos están distribuidos de un modo casi igual y simétrico en ambos hemisferios, pues la influencia de la inclinación del eje, y por lo tanto de las estaciones, es demasiado pequeña dada la lejanía del Sol.

En Saturno hay también estructuras ciclónicas que persisten en el tiempo (incluso años); no obstante, no son grandes

LA FIGURA DE SATURNO

Saturno, identificado con la figura griega de Cronos, es una divinidad latina e itálica. Según la leyenda, huyó de Grecia a Italia para escapar de la ira de su hijo Zeus (Júpiter para los romanos), enseñó a los hombres la agricultura y dio inicio a una era feliz, la era saturniana, cantada luego por muchos poetas latinos.
Esta divinidad agreste se representaba como un viejo de mirada severa con la cabellera suelta, una poblada barba y una hoz en una mano. Su nombre deriva de la raíz del latín *satio* (siembra) y su culto sólo fue importante en Roma y durante el período de las saturnales.



A la derecha, miniatura del siglo XV. Saturno influye en los juegos de habilidad.

y evidentes como la Gran Mancha Roja de Júpiter. La presencia de estas grandes formaciones ciclónicas en todos los planetas gaseosos induce a creer en la existencia de mecanismos comunes y dependientes de la misma estructura del planeta.

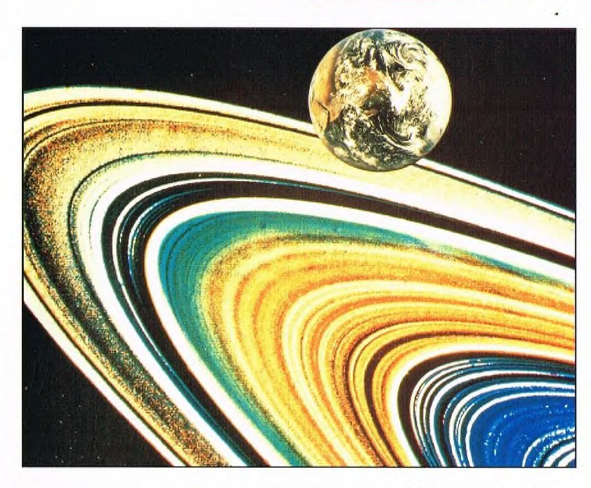
LOS ANILLOS

Cuando se piensa en Saturno no se puede no pensar en sus característicos anillos. Sabemos hoy que los cuatro gigantes gaseosos poseen anillos alrededor del ecuador, pero sólo los de Saturno son perfectamente visibles y de gran belleza.

Los anillos están inclinados 28º respecto al plano en que Saturno orbita alrededor del Sol; por ello, desde la Tierra se ven de modo distinto según la posición mutua de ambos planetas, pasando de una fase en la que aparecen de perfil a otra en la que son observables en toda su profundidad.

Como ya observó Huygens, los anillos no son sólidos sino que están formados por miríadas de pequeñísimos cuerpos que orbitan alrededor de las regiones centrales del planeta. Existen tres anillos principales y otros cuatro más tenues: todos ellos reflejan la luz en mayor grado que el propio disco del planeta.

Los anillos principales se distinguen mediante las primeras letras del alfabeto: el anillo B es el central, más largo y brillante, y está separado del anillo A, más exterior, por la división de Cassini. Ésta, tras el examen próximo realizado por las sondas, ha resultado ser una laguna de unos 4.000 km en la que existen anillos delgadísimos, casi transparentes. El anillo C, más interno que el B, es casi transparente, mientras que el anillo A posee en su interior una laguna delgada llamada división de Encke.



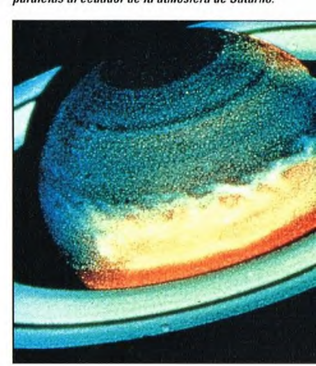
Arriba, los anillos de Saturno. Se ha superpuesto la Tierra a la misma escala del planeta. Es posible observar que los anillos tienen un diámetro mayor que el terrestre.

La estructura de los anillos es realmente tenue; con un diámetro de más de 250.000 km, tienen un espesor que no supera el kilómetro. Pese a la apariencia tan impresionante de los anillos, el material que contienen es muy escaso; si estuviese concentrado en un único cuerpo, éste tendría un diámetro no superior a los 100 kilómetros.

Las imágenes enviadas por las sondas han puesto de manifiesto que los anillos están formados en realidad por miles de anillos más pequeños que alternan con lagunas. El conjunto es parecido a los surcos de un disco. Algunos de estos pequeños anillos constitutivos no son circulares sino elípticos, mientras que casi todos están cubiertos de una delgada capa de polvo.

La mayoría de los cuerpos en órbita alrededor de Saturno tienen unos pocos centímetros de diámetro, pero no escasean los cuerpos de varios metros o, en casos aislados, de uno o dos kilómetros.

Abajo, imagen con colores artificiales del disco y de parte de los anillos. Se advierten las bandas paralelas al ecuador de la atmósfera de Saturno.



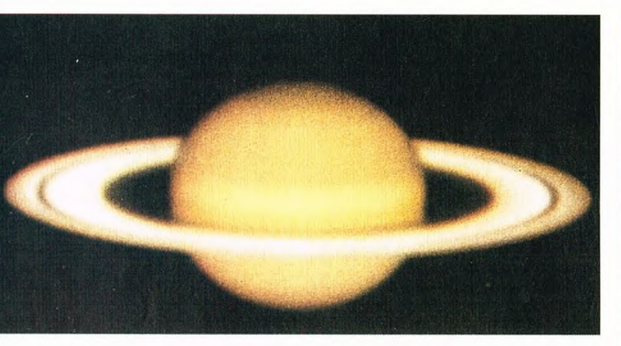


POR QUÉ LOS ANILLOS SON TAN VISIBLES

Todos los planetas gaseosos poseen anillos, pero sólo los de Saturno son lo bastante espléndidos para ser visibles incluso desde la Tierra.
El motivo, muy simple, es el mismo que explica por qué cuando se esquía hay que ponerse gafas de sol: el hielo refleja muy bien la luz solar.
Dado que la mayor parte de los anillos de Saturno están formados de pequeñísimos cristales de hielo, o bien recubiertos de ellos, poseen un albedo muy elevado, típico de esta sustancia, que permite su observación pese a que todo el sistema de anillos sea muy delgado (en torno al kilómetro).



Arriba, los anillos de Saturno se encuentran encima de la capa de nubes de la atmósfera del planeta.



Arriba, fotografía de Saturno tal como se ve desde la Tierra con un gran telescopio. No se observan todos los detalles vistos por la sonda.

Las partículas parecen formadas de hielo o de material rocoso recubierto de hielo.

Hay complejas relaciones de resonancia entre algunos satélites de Saturno y el sistema de anillos; algunos de aquéllos, los llamados satélites pastores, como Atlas, Prometeo y Pandora, son importantes para mantener los anillos en su lugar. Mimas es responsable de la falta de material en la división de Cassini (similar a la división de Kirkwood en el cinturón de asteroides) y Pan está situado dentro de la división de Encke. El sistema es extremadamente complejo y todavía no del todo conocido.

El origen de los anillos de Saturno no es todavía claro. Si bien pudieron formarse junto con el propio planeta, no constituyen un sistema estable y el material debe reemplazarse periódicamente, quizás con la destrucción de algún satélite.

EL CAMPO MAGNÉTICO Y LA MAGNETOSFERA

La composición interna de Saturno, con una región en la cual está presente un líquido conductor como el hidrógeno metálico, genera por efecto dinamo un campo magnético, aunque más débil de lo previsto. Probablemente esto se debe a que el eje de rotación y el eje magnético tienen una inclinación casi igual (la diferencia es de cerca de un grado).

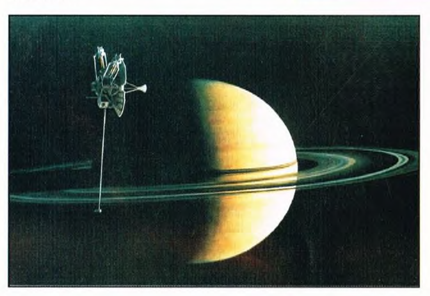
Alrededor del planeta se extiende la magnetosfera, que normalmente se alarga por detrás de Saturno por efecto de la interacción del campo magnético planetario con el viento solar. La forma de la magnetosfera es muy parecida a la de Júpiter y de los demás planetas capaces de generar un campo magnético.

LOS SATÉLITES DE SATURNO

Saturno posee 18 satélites con nombre oficial, más que todos los demás planetas. Probablemente hay otros muy pequeños (casi asteroides) que todavía no se han descubierto.

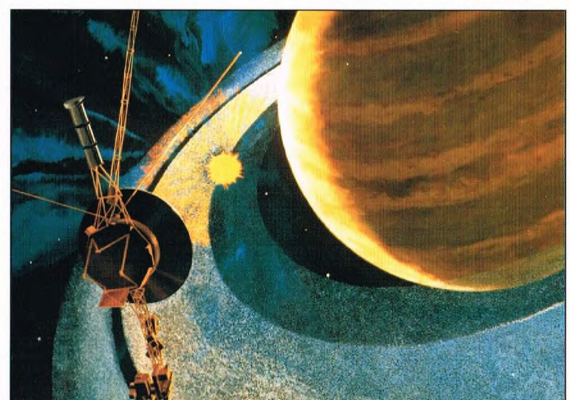
SONDAS A SATURNO

Por las proximidades de Saturno han transitado distintas sondas que han enriquecido mucho los conocimientos sobre este espectacular planeta y han permitido realizar importantes descubrimientos científicos.
La primera sonda fue la Pioneer 11, la cual, después de haber visitado Júpiter, llegó cerca de Saturno en septiembre de 1979. Las fotografías enviadas a la Tierra permitieron identificar anillos no visibles desde nuestro planeta y un pequeño satélite llamado 1979S1.
La segunda en acercarse fue la sonda Voyager 1, que llegó al planeta en noviembre de 1980, pasando a una distancia de 64.000 km del disco y realizando luego un reconocimiento de los principales satélites de Saturno.
El Voyager 2 llegó a las cercanías del planeta en agosto de 1981 y, al tener que seguir viaje hacia Urano y Neptuno, recorrió una órbita distinta de la sonda gemela, completando los datos enviados por el Voyager 1.



A la izquierda, representación artística de la llegada de la primera sonda construida por el hombre a las proximidades de Saturno (Pioneer 11).

Abajo, el dibujo representa la sonda Voyager 1 orbitando alrededor del planeta.



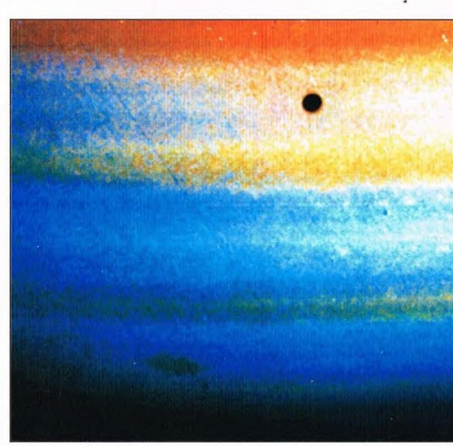
LA SONDA CASSINI

En colaboración con la ESA, la NASA ha previsto para 1997 el lanzamiento de la sonda Cassini, que debería estudiar el sistema de Saturno orbitando unas 40 veces alrededor del planeta. Si se respetan las fechas de partida, la llegada cerca de Saturno está prevista para 2004, después de que la sonda haya pasado cerca de Venus y Júpiter para recibir el efecto-honda gravitacional necesario para acelerarla sin excesivo consumo de combustible.



Una vez en órbita alrededor de Saturno, la sonda soltará un módulo que aterrizará en su satélite Titán.

A la derecha, imagen en colores artificiales del hemisferio sur de Saturno. La fotografía fue tomada por la sonda Voyager 1 a una distancia de 8 millones de km. Es visible sobre el disco la sombra proyectada por el satélite Dione.

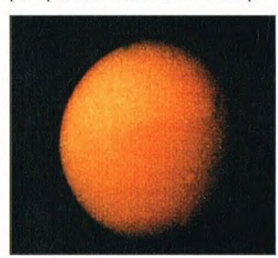


Abajo, foto del satélite de Saturno Dione. Son visibles muchos cráteres, algunos de gran tamaño.



Algunos de estos satélites tienen órbitas ligadas por pares (están por tanto en resonancia). Por ejemplo, el período orbital de Mimas es exactamente la mitad que el de Tetis, la misma relación que hay entre el de Encelado y el de Dione.

La influencia gravitacional de algunos satélites permite al material que forma los anillos mantenerse en órbitas estables. La división de Cassini, por ejemplo, se estabiliza por la presencia de Mimas. Este satélite, por lo demás, presenta en su superficie un gigantesco cráter de más de 130 km (casi un tercio de su diámetro), debido al impacto con un asteroide que por puro azar no lo destruyó.



Arriba, imagen de Titán, el mayor de los satélites de Saturno.

La mayor parte de los satélites están formados por rocas y hielo, una composición confirmada por el notable albedo que casi todos poseen.

Un aspecto curioso es el de Japeto, que las imágenes de las sondas han mostrado con una cara cinco veces más oscura que la otra; el hecho se debe probablemente al polvo procedente de Febe, satélite que se encuentra en una órbita más externa. El lado no expuesto de Japeto permanece limpio y el hielo de la superficie hace que el contraste sea todavía más estridente.

El satélite más grande es Titán, que con un diámetro de más de 5.000 km es el segundo satélite del sistema solar después de Ganimedes, de Júpiter. Titán es el único satélite que posee una atmósfera muy densa, más del 50% de la terrestre, formada por un 90% de nitrógeno y cantidades reducidas de metano, que colorea sus nubes y su cielo. Además, es posible que existan auténticas lluvias de metano en la superficie, por lo que habría mares de la misma sustancia.

En los planes de la misión Cassini está previsto un módulo de descenso que debería aterrizar en la superficie de Titán para estudiarlo en profundidad.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

LA OBSERVACIÓN DE SATURNO

Saturno es el último de los planetas observables a simple vista. Como se encuentra más lejos que Júpiter resulta menos luminoso que su hermano mayor, pero de todas maneras brilla más que una estrella.

CON UNOS PRISMÁTICOS

Con unos prismáticos de buena calidad (posiblemente un 20×80) montados sobre un trípode se pueden observar los anillos, pero el disco permanece borroso.

CON UN TELESCOPIO

Sólo con un telescopio empiezan a hacerse visibles los detalles del disco, en las zonas más externas del planeta. Es posible observar también las bandas ecuatoriales de Saturno, que demuestran la rotación diferencial del planeta.

LA GALAXIA DE ANDRÓMEDA

La galaxia de Andrómeda, situada a más de dos millones de años luz del sistema solar, es la galaxia espiral más próxima a la Vía Láctea y está gravitacionalmente ligada a ella.



Es la galaxia gemela de nuestra Vía Láctea. Se trata de una gran galaxia espiral, situada a unos 2,2 millones de años luz de la Tierra, que contiene unos 200.000 millones de estrellas, aproximadamente el doble que nuestra Galaxia. Junto con la Vía Láctea y una veintena de galaxias más pequeñas, forma el llamado Grupo Local. En las imágenes tomadas con telescopios se distinguen bien sus componentes principales: el núcleo central, los brazos espirales y las dos galaxias satélites que acompañan a Andrómeda en su carrera por el espacio.

AL-SUFI

En su *Libro de las estrellas fijas*, del 964 d.C., el astrónomo persa 'Abd al-Rahman al-Ṣufi anotó por primera vez la posición de la nebulosa de Andrómeda. En el dibujo que realizó de la constelación de Andrómeda, Al-Sufi la representó como un pequeño círculo situado en las proximidades de uno de los dos peces de la constelación de Piscis. La primera observación telescópica de la galaxia la efectuó el 15 de diciembre de 1612 un contemporáneo de Galileo, Simon Marius, al cual Messier atribuyó erróneamente el descubrimiento.

UNA CUESTIÓN CONTROVERTIDA

Durante muchos decenios hubo un acalorado debate sobre si la nebulosa de Andrómeda (como se le llamaba entonces) estaba en el interior de la Vía Láctea o era un universo lejano y separado de nuestra Galaxia. Un momento clave de la discusión tuvo lugar en



Arriba, una representación de la constelación de Perseo tomada del Libro de las estrellas fijas de Al-Sufi.



LA ESCUELA DE AL-SUFI

A partir del 800 d.C. los científicos de los países islámicos (de España a Irán) comenzaron a interesarse por las observaciones astronómicas y tradujeron al árabe textos griegos. En particular, 'Abd al-Rahman al-Sufi escribió un texto, el *Libro de las estrellas fijas*, que fue ampliamente utilizado hasta el siglo XV. A los astrónomos árabes se debe la construcción de valiosos instrumentos de estudio, como el astrolabio, utilizado para medir la posición de las estrellas.

A la izquierda, una ilustración del siglo XVI muestra a un grupo de astrónomos islámicos utilizando distintos instrumentos. La imagen más pequeña es un astrolabio islámico finamente trabajado, que se remonta al siglo X.

UNA ENORME ESPIRAL

La galaxia de arriba es una reproducción pictórica detallada de la galaxia de Andrómeda basada en fotografías tomadas por grandes telescopios. Se reconocen perfectamente la forma espiral característica y el núcleo extremadamente luminoso de la galaxia. Se distinguen también las galaxias satélites M32 y M110.

1923, cuando Edwin Hubble descubrió la verdadera naturaleza de la nebulosa. Examinando algunas placas fotográficas obtenidas por el telescopio de 100 pulgadas del monte Wilson, el astrónomo observó en la galaxia de Andrómeda la presencia de algunas estrellas variables de tipo cefeida. Estos astros, como se sabe, se utilizan para determinar distancias estelares, que en este caso resultaron ser enormes. Esto indujo a concluir que la galaxia de Andrómeda estaba situada muy lejos de la Vía Láctea.

CÓMO ENCONTRARLA

Encontrar la nebulosa de Andrómeda es relativamente fácil gracias a las numerosas estrellas presentes en sus cercanías. En las noches de otoño y los atardeceres invernales del hemisferio norte es fácil distinguir el gran cuadrilátero formado por las estrellas de Pegaso. A oriente de él se extiende la constelación de Andrómeda, que se presenta como una alineación de tres estrellas brillantes: respectivamente, Alfa, Beta y Gamma *Andromedae*. Ligeramente por encima de la estrella central, Beta, se encuentra la galaxia de Andrómeda.

LAS COMPAÑERAS DE ANDRÓMEDA

Como nuestra Vía Láctea, alrededor de la cual orbitan lentamente las dos galaxias irregulares llamadas Nubes de Magallanes, también la galaxia de Andrómeda posee dos galaxias satélites. Las dos compañeras son galaxias de tipo elíptico, una de ellas más aplastada que la otra. La más luminosa es M32, descubierta por Le Gentil el 29 de octubre de 1749. Se trata de la galaxia elíptica más cercana a los observatorios terrestres, por lo que es la más estudiada. Tiene una masa total de unos 3.000 millones de masas solares y un diámetro de 8.000 años luz. Pese a ser más pequeña que la galaxia de Andrómeda, tiene un núcleo muy grande, casi comparable al de la gran espiral.

La otra compañera de Andrómeda ha tenido menos fortuna en la literatura astronómica. Messier, a pesar de haberla descubierto en 1773, nunca la incluyó en su catálogo. Esta adjunción fue obra del astrónomo Glyn Jones en 1966; actualmente la galaxia se conoce como M110, la última del catálogo de Messier.

DATOS

ANDRÓMEDA

Ascensión recta: 4 h 40 mn (B1950)
Declinación: +41° 00′
Distancia: 2,2 millones de años luz
Magnitud: 4,8
Diámetro: 150.000 años luz

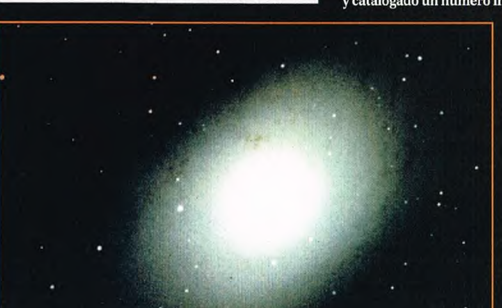
ANDRÓMEDA VISTA CON RAYOS X

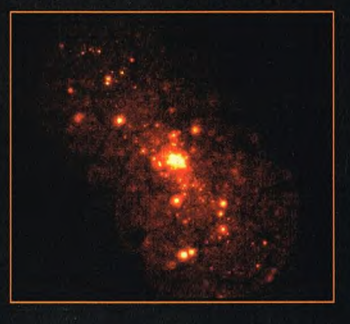
El satélite ROSAT ha suministrado numerosas imágenes de Andrómeda tomadas en las distintas exposiciones obtenidas durante la observación de la galaxia. En esta serie de tomas se han descubierto y catalogado un número importante de fuentes



A la izquierda, el telescopio espacial Hubble ha conseguido observar también los cúmulos globulares de Andrómeda. El del centro, llamado G1, es el más brillante y contiene unas 300.000 estrellas. Abajo, la galaxia de Andrómeda, M31, junto a sus dos galaxias satélites, M32 y M110, fotografiada por el telescopio de monte Palomar.

Abajo a la derecha, foto en mosaico de M31, a la longitud de onda de los rayos X, tomada por el satélite ROSAT. Los puntos brillantes son las fuentes X más luminosas. A la izquierda, núcleo de la galaxia M31 (NGC 224)





situadas en Andrómeda; se trata en su mayor parte de restos de supernovas que explosionaron en el pasado, de estrellas binarias masivas en fase de acreción de materia y de gas interestelar muy caliente. El interés de los datos que se pueden recabar de tales observaciones ha inducido a científicos y técnicos a emprender una investigación sistemática de todas las fuentes de rayos X de las galaxias del Grupo Local, desde las espirales gigantes (M31, M33 y nuestra Vía Láctea) hasta las pequeñas galaxias enanas esferoidales.

EL CÚMULO GLOBULAR G1

El telescopio espacial Hubble, gracias a su extraordinario poder separador, ha permitido estudiar en detalle este cúmulo globular que orbita alrededor de Andrómeda. El cúmulo, denominado con las siglas G1 o Mayall II, es comparable al que encontramos en el halo de nuestra Galaxia y está compuesto por centenares de miles de estrellas de edad avanzada. Las investigaciones efectuadas han revelado una población estelar prácticamente idéntica a la de los cúmulos de la Vía Láctea, lo que da apoyo a la hipótesis de una edad común para los dos grandes sistemas galácticos.

EL DOBLE NÚCLEO

Las imágenes tomadas por los satélites han permitido observar el corazón de la galaxia. La luminosidad central del núcleo es debida a la gran cantidad de estrellas presentes en una pequeña región del espacio. Se distinguen claramente dos regiones luminosas próximas entre sí. Se trata de un fenómeno más bien raro, cuya explicación ha abierto el debate. Las hipótesis más acreditadas hablan de una galaxia externa englobada en Andrómeda por la fuerza gravitacional (canibalismo entre galaxias) o bien de un pequeño cúmulo globular que orbita cerca del núcleo principal. No hay que excluir, por ahora, la simple presencia de una nube de polvo capaz de provocar un efecto visual que no corresponde a un verdadero núcleo doble.

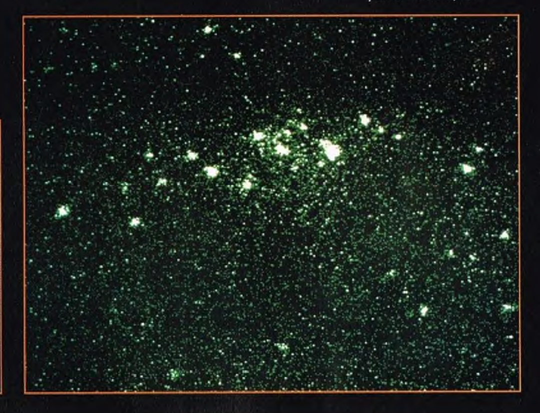
EL OBJETO MÁS LEJANO

La galaxia de Andrómeda es el objeto más lejano que se puede ver sin auxilio de telescopio y, para el hemisferio norte, es el único objeto visible a simple vista que se encuentra fuera de los confines de nuestra Galaxia.
La luz que observamos hoy al mirar la nebulosa partió cuando en la Tierra los antepasados de los seres humanos daban sus primeros pasos. Nuestra Vía Láctea, vista desde Andrómeda, aparece más o menos igual, con una espiral vista de perfil; podemos pensar en las dos galaxias gemelas como en dos «universos-isla», formados por miles de millones de estrellas, que se miran el uno al otro.

El satélite ROSAT fue lanzado en 1990 para efectuar investigaciones astrofísicas a la longitud de onda de los rayos X. El ingenio ha tomado más de 60.000 imágenes de estrellas, galaxias, cuásares, nebulosas, restos de supernovas y otros objetos celestes.

Abajo a la izquierda, el núcleo de la galaxia de Andrómeda fotografiado a altísima resolución por el telescopio espacial Hubble. Es interesante observar que dicho núcleo resulta separado en dos componentes.

Abajo, la región central de la galaxia de Andrómeda vista por el observatorio orbital Einstein, que voló a fines de los años setenta y tomó imágenes del cielo por medio de rayos X.



EL BOYERO

A la constelación del Boyero* (Bootes) *pertenece la brillante estrella Arturo, la cuarta en orden de luminosidad de toda la bóveda estrellada.



El Boyero, una constelación de origen antiguo, está ligado a la Osa Mayor, ya que representa al guardián del animal, del mismo modo que su estrella principal, Arturo.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

El Boyero está situado tras la cola de la Osa Mayor. Basta seguir la curva descrita por las tres estrellas del timón del Carro para llegar a Arturo, la estrella más luminosa del hemisferio norte del cielo. El resto de la constelación se encuentra al norte de dicha estrella.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Alfa, o Arturo, es una estrella de magnitud 0. Se trata de una gigante roja que a simple vista aparece de color anaranjado. Es una de las estrellas que más rápidamente se mueven por el cielo en virtud de su movimiento de revolución en torno al centro de la Galaxia. El movimiento propio medido es superior a los 2" por año. A esta velocidad recorre un ángulo equivalente al diámetro de la Luna llena en no mucho más de 800 años.

Épsilon, conocida como *Pulcherrima*, que en latín significa «bellísima», es una estrella doble cuyos componentes tienen distinto color y luminosidad; la componente principal (magnitud 2,5) es una estrella de color amarillo anaranjado, mientras que la secundaria tiene magnitud igual a 4,9 y es de color blancoazulado. Para poder apreciar su belleza, sin embargo, son necesarios telescopios con apertura mayor de 8 cm y un aumento elevado, superior a 100.

En el Boyero también hay otros dos sistemas múltiples de estrellas que deben observarse. Uno de ellos es Mu, estrella de cuarta magnitud formada en realidad por tres estrellas muy próximas, tanto que sólo son separables con un telescopio de al menos 8 cm de apertura; el otro es el de Csi, un sistema de dos estrellas que orbitan la una alrededor de la otra en un período de unos 150 años; las dos componentes tienen magnitudes respectivas de 4,7 y 7.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

EL BOYERO

La constelación aparece en leyendas muy antiguas. Según una de ellas, el Boyero representa a Ícaro, no al celebérrimo hijo de Dédalo, sino a un ciudadano de Atenas que hospedó a Dioniso. Éste, a cambio, le enseñó el arte del cultivo de la vid y de la preparación del vino. Un día, Ícaro ofreció el vino a unos pastores, que bebieron tanto que se embriagaron; sus compañeros creyeron que habían sido envenenados y, para vengarse, mataron a Ícaro, que fue transformado en constelación por Júpiter o por el propio dios Dioniso.



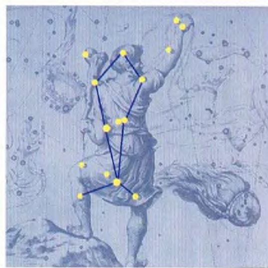
En la constelación del Boyero destaca Arturo (indicada con la flecha), una estrella gigante roja de magnitud cero.

OBJETOS DEL BOYERO

La constelación del Boyero no contiene objetos dignos de señalar, debido, en primer lugar, a que la constelación está alejada de la Vía Láctea y, en segundo lugar, al hecho de que las galaxias que se encuentran dentro de sus límites son decididamente poco luminosas y no presentan ningún interés particular.

El único objeto que puede ser percibido sin excesivas dificultades con instrumentos de aficionado es el cúmulo globular NGC 5466, que brilla con magnitud 9 en la frontera con la constelación de los Perros de Caza.

Un atractivo de esta constelación es la presencia de objetos de aparición fugaz: los meteoros. Desde la constelación del Boyero, en efecto, es posible localizar uno de los enjambres meteóricos más ricos de todo el año. En enero se pueden observar numerosos meteoros cuya estela parece proceder de un punto situado en la constelación del Boyero. Dichos meteoros se llaman Cuadrántidas porque en el pasado la zona de donde parecían proceder estaba ocupada por el Cuadrante Mural, una constelación ya no reconocida.

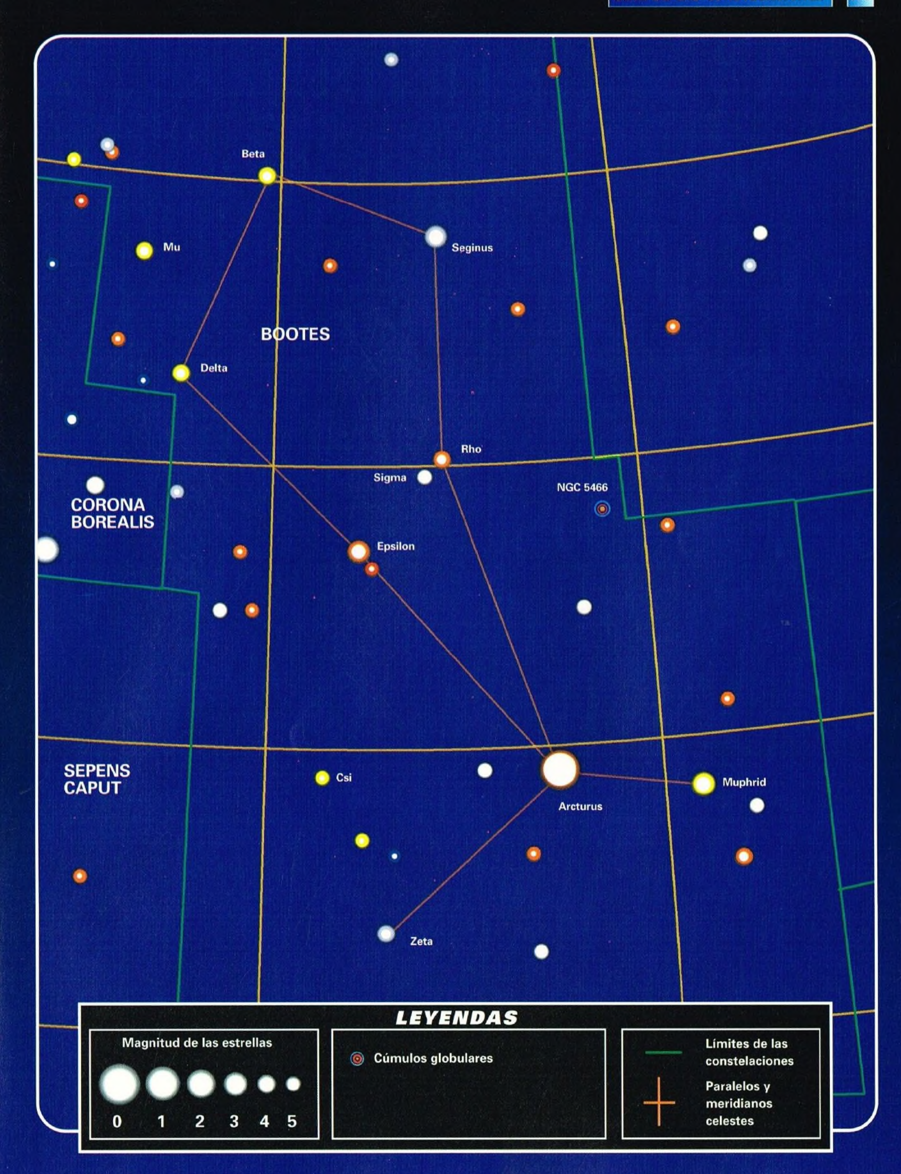


El Boyero, llamado también* Bootes, *está representado en esta antigua ilustración del guardián de la Osa.

DÓNDE BUSCARLA

EL BOYERO

La constelación del Boyero *(Bootes)* abarca una región del cielo comprendida entre 55° N y 8° N de declinación, y entre 13 horas 35 minutos y 15 horas 50 minutos de ascensión recta. Es íntegramente visible todo el año desde latitudes superiores a los 82° N y parte del año desde las regiones situadas entre 82° N y 35° S. En latitudes como la de España, el Boyero es fácilmente visible durante toda la primavera.


Beta
Mu
Seginus
BOOTES
Delta
Rho
Sigma
NGC 5466
CORONA BOREALIS
Epsilon
SEPENS CAPUT
Csi
Muphrid
Arcturus
Zeta
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos globulares
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LOS ESTADOS DE LA MATERIA

Todo el universo conocido está formado de materia presente en una forma u otra. Ésta se condensó a partir de la energía liberada por el Big Bang, la inmensa explosión que dio vida a nuestro universo.

Hace muchísimo tiempo, antes de que las galaxias y las estrellas empezaran a formarse, el universo estaba constituido por partículas libres de materia mezcladas con la energía creada por el Big Bang. A lo largo de millones de años, con el enfriamiento y la expansión del universo, las partículas de materia dieron origen a los átomos, y la estructura del universo empezó a tomar forma.

Los científicos estudian hoy la materia para obtener mayor información sobre la formación del universo, su composición química y su comportamiento. Toda la materia, en la Tierra como en el espacio, consiste en partículas unidas entre sí; según las modalidades de la ordenación de las partículas, la materia puede encontrarse en cuatro estados diferentes: sólido, líquido, gaseoso y plasma. El plasma, o gas ionizado, suele encontrarse sólo en el espacio, aunque puede crearse artificialmente en la Tierra, por ejemplo dentro de lámparas de neón.

El dióxido de carbono seco, conocido también como hielo seco, se emplea a menudo en los espectáculos. Se trata de uno de los pocos materiales que pasan directamente de estado sólido a estado gaseoso sin pasar por la fase líquida. El fenómeno se conoce como sublimación.

EL ESTUDIO DE LOS SÓLIDOS

La materia sólida es bastante común en el sistema solar. Los planetas interiores, junto con Plutón, los asteroides, los satélites de los diversos planetas y los cometas helados están en gran parte constituidos por rocas y hielo.

La materia en estado sólido puede estar formada por átomos, moléculas o iones. Los átomos son la forma más simple de partículas que presentan identidad propia; son de diversos tipos, que nosotros llamamos elementos químicos. Las moléculas, en cambio, están formadas de dos o más átomos unidos entre sí por

ÁTOMO DE NEÓN
Electrón de ionización
10 electrones
Núcleo: 10 protones y 10 neutrones

A la izquierda, el núcleo del átomo de neón está formado por 10 protones, cada uno de los cuales está dotado de una carga positiva, y de 10 neutrones, carentes de carga. Los 10 electrones que rodean el núcleo tienen todos una carga negativa. Cuando el átomo pierde un electrón, se dice que se ioniza.
En la Tierra (a la derecha), las luces de neón contienen gas neón en forma de plasma. Cuando una fuerte corriente eléctrica pasa a través del tubo de vidrio de la lámpara, algunos electrones son arrancados de los átomos de neón. Estos electrones excitan los átomos, que comienzan a emitir luz.

enlaces químicos; son las partes más pequeñas de materia que conservan las características de una cierta sustancia. Los iones son átomos o grupos de átomos que han adquirido carga eléctrica.

Las partículas que constituyen los sólidos están dispuestas formando estructuras (o redes) regulares, pero a menudo es difícil averiguar qué tipo de partícula está presente. Uno de los métodos gracias a los cuales los científicos estudian las estructuras de las partículas de un cuerpo sólido es el análisis de los cristales a través de los rayos X; luego, un ordenador reconstruye la imagen de la estructura interna del cristal. La imagen suministrada por el ordenador en este tipo de experimentos es parecida a un mapa geográfico caracterizado por curvas de nivel, con líneas y estructuras que representan las posiciones de los átomos.

Este tipo de investigación también es de gran utilidad para los astrónomos que estudian la estructura de los objetos presentes en el espacio. Tales objetos, como las rocas lunares y los meteoritos, pueden ser bombardeados con rayos X: al analizar el tipo de energía reemitida por las rocas, los astrónomos consiguen determinar la composición atómica del material examinado.

LAS PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS

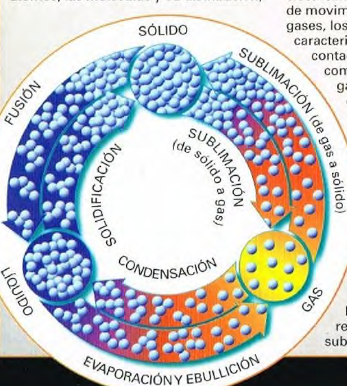
Los líquidos están caracterizados por partículas en contacto entre sí pero dispuestas de un modo aleatorio; en términos estructurales, son más parecidos a los sólidos que a los gases. Como los sólidos, los líquidos no pueden comprimirse porque alrededor de las partículas, pese a su distribución aleatoria, no existen espacios vacíos capaces de permitir un «empaquetamiento» más estrecho.

En la tecnología utilizada en el transbordador espacial, un sistema especial de control con guías hidráulicas acciona el timón de cola cuando el transbordador se prepara para regresar a la Tierra. Si los líquidos fuesen compresibles, este tipo de sistema sería totalmente inutilizable, pues en vez de accionar el timón del transbordador, el líquido se limitaría a comprimirse en el interior de los conductos.

Los líquidos son bastante comunes en la Tierra a causa de las condiciones presentes en nuestro planeta, pero son bastante más raros en otros, donde las condiciones de presión son muy distintas.

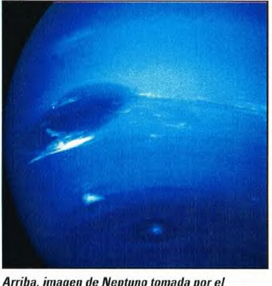
LOS CAMBIOS DE ESTADO DE LA MATERIA

El diagrama muestra los cambios de estado en cuerpos que se encuentran en los estados sólido, líquido o gaseoso. Según la naturaleza de los átomos, las moléculas y su distribución, la materia puede pasar a través de cuatro estados: sólido, líquido, gas o plasma. El plasma es gas ionizado, caracterizado por partículas eléctricamente cargadas con libertad de movimientos. A diferencia de los gases, los líquidos y los sólidos están caracterizados por partículas en contacto mutuo que no pueden comprimirse fácilmente. En un gas, en cambio, las partículas están distantes y por tanto se pueden comprimir fácilmente. Los cambios de estado de la materia se conocen con términos familiares para nosotros, como solidificación o congelación, fusión o licuación, condensación, y evaporación o ebullición. Sólo en un reducido número de sustancias un sólido puede transformarse en gas sin pasar por el estado líquido. Este cambio de estado recibe el nombre de sublimación.

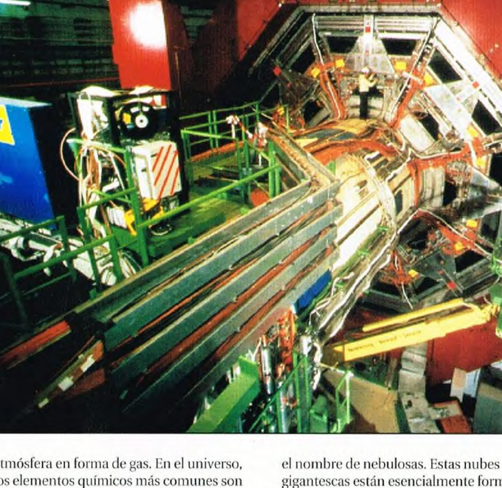


Abajo, la nebulosa del Cisne, en la constelación de Sagitario, es una típica nebulosa de emisión, es decir, una nube de gas que emite luz. Estas nebulosas son de color rojo porque el hidrógeno presente en su interior emite luz roja.





Arriba, imagen de Neptuno tomada por el Voyager 2 en la que se ve claramente la Gran Mancha Oscura. Esta gigantesca tempestad ya ha desaparecido. La mancha blanca está formada por cristales de metano helado.



En Júpiter, hay probablemente agua en estado líquido bajo la cubierta nubosa, así como hidrógeno líquido cerca del núcleo. Los únicos planetas que al parecer no poseen materia en estado líquido son Plutón y Mercurio; Plutón se encuentra tan lejos del Sol que la temperatura externa resulta bajísima y no permite mantener la materia en estado líquido o gaseoso.

NUBES DE GAS

Los gases contienen partículas muy distantes entre sí y en continuo movimiento, por lo que son fácilmente compresibles. Una sustancia en estado líquido puede pasar al estado gaseoso si se calienta hasta el punto de que su presión de vapor iguale la presión de la atmósfera circundante, causando su ebullición; en este punto, las partículas del líquido se expanden por la atmósfera en forma de gas. En el universo, los elementos químicos más comunes son dos gases: el hidrógeno y el helio. Se trata de gases que originalmente se condensaron gracias a la enorme cantidad de energía producida por el Big Bang, que en fases sucesivas fue dando vida a todos los demás elementos del cosmos.

En la actualidad todavía hay en el espacio enormes nubes de gas, conocidas bajo el nombre de nebulosas. Estas nubes gigantescas están esencialmente formadas por hidrógeno y son las regiones donde se originan las nuevas estrellas; incluso la materia presente en nuestro sistema solar se condensó a partir de los gases de una nebulosa solar, hace unos 4.500 millones de años. El estudio de estas nebulosas ha permitido obtener mayor información sobre la vida de las estrellas y sobre las condiciones que han hecho posible el nacimiento del Sol y de los planetas.

NEBULOSAS DE EMISIÓN

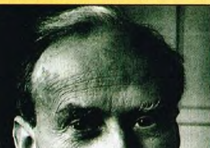
También el color de la luz emitida por los gases puede brindar a los astrónomos indicios acerca de la composición química de un objeto. En una nebulosa de emisión, los gases están ionizados y emiten luz propia; a menudo, estas nebulosas aparecen de color rojo, que es el color típico de la luz emitida por el hidrógeno.

El color de los gigantes de nuestro sistema solar (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno) permite a los científicos determinar su composición. El color azulado de Neptuno se debe a las moléculas de metano presentes en las capas nubosas más externas, mientras que el color de la Gran Mancha Roja de Júpiter está probablemente ligado a la presencia de moléculas de fósforo.

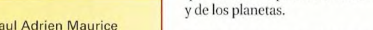
PERSONAJES



PAUL DIRAC



1902 - 1984



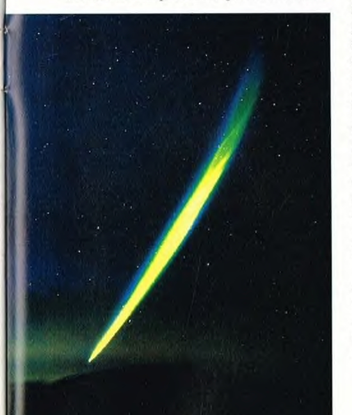
El físico inglés Paul Adrien Maurice Dirac nació en 1902 y se especializó en el estudio de la relatividad y de la mecánica cuántica, es decir, en la ciencia que trata del comportamiento de las partículas más pequeñas. Dirac predijo la existencia del positrón como antipartícula del electrón y recibió el premio Nobel de física en 1933. Sus investigaciones llevaron a la formulación del principio antrópico, que asegura que el universo está estructurado de tal modo que produce fuerzas y partículas compatibles con la aparición de formas de vida inteligentes. Algunos de sus estudios sobre partículas se emplean en diagnosis médica. Le ha sido dedicado un monumento al lado de la tumba de Isaac Newton en la abadía de Westminster, en Londres.

A la izquierda, un espectrómetro de partículas del laboratorio del CERN de Ginebra. Gracias a las aceleraciones de las partículas subatómicas, los científicos crean colisiones de alta energía entre partículas similares a las que se produjeron después del Big Bang.

Arriba, la imagen en colores artificiales muestra las trazas dejadas por las partículas aceleradas. En el punto de intersección se ha producido la aniquilación de un antiprotón con un protón.

UNA «SOPA DE PLASMA»

El cuarto estado de la materia, el plasma, es común en el universo pero raro en la Tierra. El plasma es un gas caracterizado por protones y electrones eléctricamente cargados y capaces de moverse. El Sol y las estrellas están principalmente formados de materia en este estado; incluso la cola gaseosa de los cometas contiene gases ionizados. Gran parte del espacio interestelar puede considerarse como una especie de «sopa de plasma» muy enrarecida. Esto es debido a que, después del Big Bang, la mayor parte de la materia quedó atrapada dentro de las galaxias y fuera quedó muy poca. Gracias a los radiotelescopios y a los telescopios de infrarrojos, así como a los detectores de partículas, los astrónomos pueden estudiar el espacio cósmico.



LA INVESTIGACIÓN SOBRE LAS PARTÍCULAS

El estudio de las partículas es otro sector de la física que permite obtener conocimientos acerca de las propiedades de la materia. Durante un cierto período, los científicos creyeron que los constituyentes más elementales eran partículas como los electrones, los protones y los neutrones, pero hoy sabemos que los dos últimos tipos citados están compuestos de quarks; los científicos han descubierto otras partículas anómalas, como los mesones y los neutrinos.

En institutos de investigación como el CERN de Ginebra se estudian estas partículas por medio de unos enormes aparatos llamados aceleradores que las aceleran hasta altas energías. Las aceleraciones provocan colisiones de alta energía entre las partículas, similares a las que se produjeron después del Big Bang. Estas investigaciones han tenido importantes repercusiones para los astrónomos, ya que han facilitado el conocimiento de lo que ocurrió en el momento de la formación de nuestro universo, así como la comprensión de la naturaleza de las partículas que llegan a la Tierra procedentes del espacio.

MATERIA Y ENERGÍA

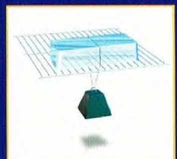
La investigación sobre las partículas ha puesto de manifiesto el vínculo entre materia y energía. La energía creada por las partículas durante las colisiones se convierte a menudo en una masa ulterior: es lo que el físico Albert Einstein expresó con la ecuación $E = mc^2$, según la cual la energía E puede convertirse en masa m, donde c indica la velocidad de la luz. Dado que la luz viaja a una velocidad elevadísima (300.000 km/s) es necesaria una gran cantidad de energía para producir una pequeña cantidad de materia. En cambio, una pequeña cantidad de materia puede producir una enorme cantidad de energía. Éste es el principio a través del cual el Sol crea su propia energía.

La cola de gas o plasma de un cometa está formada por gases ionizados emitidos por el núcleo helado del propio cometa a causa de la radiación solar. El dióxido de carbono gaseoso de la cola produce el color azul.

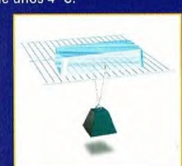
EXPERIMENTO

¿CAMBIA DE ESTADO EL HIELO CUANDO SE SOMETE A PRESIÓN?

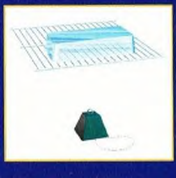
Es sabido que el hielo se funde cuando se aumenta la temperatura del medio en que se encuentra, pero pocos saben que el hielo puede cambiar de estado sometiéndolo a una variación de presión. Un simple experimento puede demostrar esta afirmación.



Atamos un peso relativamente elevado a un hilo metálico (preferiblemente de cobre o de níquel-cromo). El peso debería ser de unos 15 kg. Luego, congelamos una cierta cantidad de agua en un recipiente de plástico para obtener un bloque de hielo. Practicamos una incisión en el hielo para colocar correctamente el hilo y colocamos el conjunto en un ambiente frío. El mejor lugar, obviamente, es el interior de un frigorífico, donde la temperatura es de unos 4 °C.



Al cabo de unas horas el hilo habrá atravesado el hielo aparentemente sin cortarlo en dos ni romperlo. El aumento de presión sobre el hielo debajo del hilo provoca la fusión del hielo, lo mismo que las hojas de los patines de un patinador producen una delgadísima capa de agua entre ellas y la pista. Cuando el hilo ha sobrepasado un cierto punto, la presión disminuye y las partículas se vuelven a helar sin dejar huellas del paso del hilo.

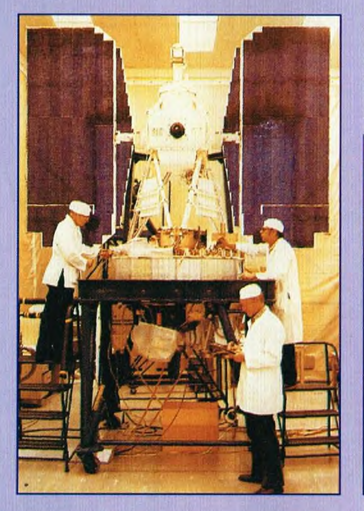


MISIÓN PLANETA TIERRA

Desde el espacio, privilegiado punto de observación, es posible recoger informaciones sobre las tierras, la atmósfera, los hielos polares, los océanos y el medio ambiente de nuestro planeta.



La Misión Planeta Tierra tiene por objeto estudiar y comprender el sistema de nuestro planeta en su globalidad y se propone también averiguar qué efectos sobre el medio ambiente puede tener el desarrollo de la civilización humana. Junto con otras investigaciones realizadas directamente desde la superficie terrestre, la Misión Planeta Tierra debería suministrar los conocimientos necesarios para una mejor conservación del medio ambiente planetario. Más específicamente, esta importante empresa científica se propone incrementar los conocimientos sobre la Tierra en su globalidad, observar y definir las características de la Tierra por medio de satélites, aviones y otros sistemas útiles a tal fin, comprender las transformaciones del planeta a nivel global y regional producidas por el hombre o la naturaleza y definir la influencia de éstas sobre los cambios climáticos. Por último, la Misión Planeta Tierra pretende formular hipótesis sobre las consecuencias de tales cambios sobre la salud y el bienestar del hombre, contribuyendo al desarrollo de políticas que salvaguarden el medio ambiente terrestre.





A la izquierda, la Tierra, vista desde el espacio, aparece como un planeta vivo en continua transformación. Gracias a los satélites artificiales se tiene bajo control la evolución de la atmósfera y del medio ambiente. Sólo así será posible realizar previsiones sobre su desarrollo futuro a medio y largo plazo.

EL ORIGEN DEL PROYECTO

El proyecto Misión Planeta Tierra nació en la NASA, aunque por su importancia hoy son muchas las naciones y organizaciones que se han adherido a él. Las misiones en fase de realización son actualmente varias decenas. Es difícil identificar un satélite o grupo de instrumentos más importantes que los demás, ya que cada uno tiene un cometido específico. Damos ahora una selección de las principales misiones que forman parte de este gran proyecto.



A la izquierda, el Landsat 3, construido por General Electric.

Junto a estas líneas, Italia fotografiada por el Landsat 1. Esta serie de satélites han permitido estudiar durante largo tiempo las transformaciones de los suelos y los terrenos, siguiendo desde cerca su evolución en el tiempo. El color rojo de la foto, por ejemplo, indica la presencia de una vegetación en pleno crecimiento.



SATÉLITES E INSTRUMENTOS PARA OBSERVAR LA TIERRA

SATÉLITES DE LA NASA

• Pasado

Landsat, Seasat, Nimbus 7.

• Presente

Earth Radiation Budget Satellite (ERBS)

La *radiation budget* representa el balance entre la energía que llega a la Tierra desde el Sol y la que es reflejada o sale del planeta en forma de energía térmica. Ya en 1970 la NASA comprendió la necesidad de disponer de datos sobre esta diferencia de energía a la entrada y a la salida para establecer mapas de las transformaciones climáticas de la Tierra. Por esta razón el Goddard Space Flight Center construyó el Earth Radiation Budget Satellite (ERBS), sobre el cual fue instalado el primer instrumento dedicado a tal fin y que fue puesto en órbita en 1984 por el transbordador espacial. Otros dos instrumentos análogos fueron colocados a bordo de dos satélites del NOAA (NOAA 9 y NOAA 10) en 1984 y 1986.

Upper Atmosphere Research Satellite (UARS)

La parte superior de la atmósfera, que se inicia a unos 10-15 km de la superficie terrestre, todavía permanece en gran parte inexplorada desde el espacio. El satélite UARS fue construido para estudiar a fondo y de modo sistemático la estratosfera, la mesosfera y la termosfera. Los instrumentos de a bordo están recogiendo datos sobre la temperatura, la presión, la velocidad de los vientos y la concentración de gas a distintas alturas a fin de trazar un cuadro mucho más preciso de esta parte de la atmósfera terrestre.

TOPEX/poseidon

El Ocean Topographic Experiment es un proyecto en el cual han colaborado Estados Unidos y Francia con objeto de construir un satélite dedicado a la observación de los océanos terrestres. La misión ya ha recogido informaciones sobre las características del nivel de los mares con una precisión nunca alcanzada. Estos datos son utilizados para determinar la circulación de las corrientes marinas y para estudiar las interacciones existentes entre los océanos y la atmósfera. El satélite fue lanzado en 1992 por un cohete Ariane.

Earth Probe Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS)

El satélite, lanzado en 1996 por un cohete Pegasus XL, tiene por objetivo detectar la distribución del ozono de la alta atmósfera y la presencia de dióxido de azufre liberado por las erupciones volcánicas, una presencia peligrosa para la aviación comercial y militar. Los instrumentos a bordo del TOMS pueden medir la cantidad total de ozono en una columna de aire que va desde la superficie terrestre hasta las partes más elevadas de la atmósfera, a todas horas del día y en cualesquiera condiciones atmosféricas. El satélite realiza 35 medidas cada 8 segundos, cada una de las cuales cubre un área de 50 × 200 km. El satélite realiza unas 400.000 mediciones al día, cubriendo todos los puntos de la Tierra, con la excepción de uno de los dos polos terrestres donde el Sol, durante las 24 horas del día, está próximo al horizonte o debajo de él.

• Futuro

The Landsat Program

El programa Landsat es una de las misiones espaciales más largas jamás realizadas en el espacio con el

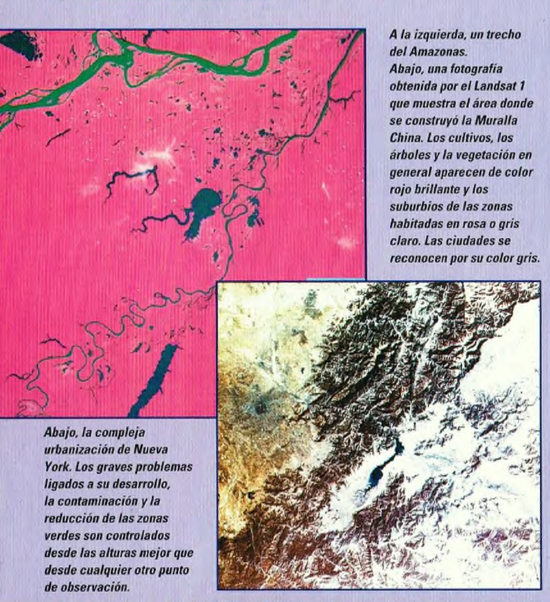
Arriba, el Landsat D. Los satélites de la familia Landsat han permitido a los investigadores estudiar con gran precisión las características del suelo y de la vegetación. Se puede incluso distinguir las áreas con árboles enfermos de las zonas de vegetación sana y detectar otras muchas características, gracias a las cuales los geólogos han logrado encontrar yacimientos minerales y petrolíferos.

LOS SATÉLITES METEOSAT

Los satélites de la familia Meteosat son los más conocidos por el gran público porque se utilizan para realizar previsiones meteorológicas. En órbita, el Meteosat gira sobre sí mismo 100 veces por minuto para aumentar su estabilidad. La característica principal del Meteosat es un gran cilindro que hospeda un telescopio particular, el radiómetro. Éste observa la Tierra en tres bandas espectrales: una visible y dos infrarrojas. El poder de resolución del radiómetro es de 5 km en el infrarrojo y de 2,5 km con luz visible. Los Meteosat los construye la Aérospatiale francesa.

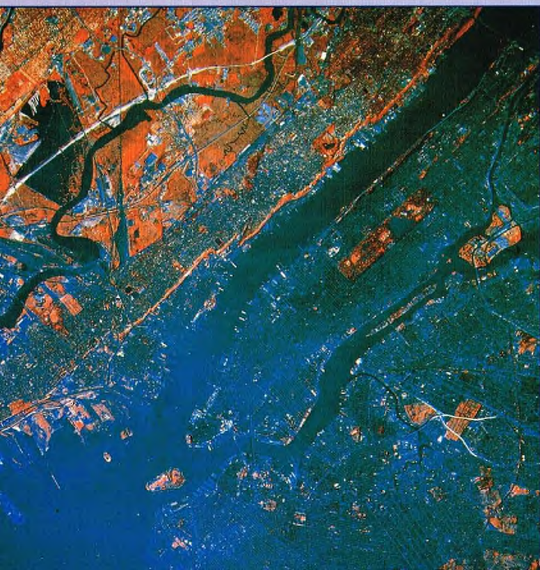


El satélite meteorológico Meteosat 1 mientras es colocado en el interior del cohete Delta que lo pondrá en órbita. Este satélite tiene un diámetro de 210 cm y una altura de 3,2 m; pesa 295 kg.



A la izquierda, un trecho del Amazonas.
Abajo, una fotografía obtenida por el Landsat 1 que muestra el área donde se construyó la Muralla China. Los cultivos, los árboles y la vegetación en general aparecen de color rojo brillante y los suburbios de las zonas habitadas en rosa o gris claro. Las ciudades se reconocen por su color gris.

Abajo, la compleja urbanización de Nueva York. Los graves problemas ligados a su desarrollo, la contaminación y la reducción de las zonas verdes son controlados desde las alturas mejor que desde cualquier otro punto de observación.





Desde fines de los años ochenta, la NASA ha utilizado varios tipos de aviones para el estudio del medio ambiente de nuestro planeta. Arriba, proyecto de un avión sin piloto que podrá volar días enteros a fin de tener bajo control detalles y áreas bien definidas de la Tierra.

objetivo de recoger imágenes de la Tierra. El primer Landsat fue lanzado en 1972. El próximo de la serie, el Landsat 7, tiene previsto su lanzamiento para diciembre de 1998. Los instrumentos han recogido millones de imágenes, que actualmente son archivadas en Estados Unidos y constituyen una fuente de información insustituible.
El proyecto EOS comprende una serie de 17 satélites que, por primera vez, tendrán bajo control a la Tierra durante un largo período de tiempo, midiendo todos los parámetros físicos, químicos y biológicos que influyen sobre el clima terrestre.

Cada satélite observará datos muy precisos del medio ambiente terrestre. El primero, que deberá lanzarse en 1998, tendrá como tarea la observación de la superficie de la Tierra, así como la medición de la radiación solar a la entrada y a la salida. Los satélites siguientes tendrán otras tareas. En total, el proyecto debería tener una duración de, al menos, 15 años. Para hacer frente a la cantidad de datos que los 17 EOS enviarán a la Tierra, la NASA está construyendo el EOSDIS, un sistema de recogida y distribución de datos que simplificará al máximo el proceso, a fin de alentar las investigaciones internacionales.

Satélites estadounidenses para la observación de la Tierra no construidos por la NASA

• **Pasado**
NOAA Polar Orbiters, NOAA Geostationary

• **Presente**
En los últimos treinta años la mayor parte de las agencias para el medio ambiente han tenido la necesidad de recoger datos actuales de nuestro planeta, sobre la temperatura atmosférica, la velocidad y la dirección del viento y otras magnitudes. La nueva generación de GOES observará la radiación emitida y reflejada por el planeta.

• **Futuro**
Una de las tareas de los satélites será la determinación de las características bioópticas de los océanos terrestres.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

URANO Y NEPTUNO

ESTRELLAS Y GALAXIAS

ESTRELLAS VARIABLES

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

HÉRCULES

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

EL TRANSBORDADOR ESPACIAL RUSO

EL USO DEL ESPACIO

CAPTURAR UN COMETA

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

15



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

URANO Y NEPTUNO

Urano y Neptuno son los dos últimos planetas de la familia de los gigantes gaseosos de nuestro sistema solar. Son similares, aunque con algunas características diferentes, como la inclinación del eje de rotación.

Urano y Neptuno completan la serie de planetas gaseosos en la que también se encuentran Júpiter y Saturno. Estos gigantes tienen un esquema estructural similar, aunque no idéntico. Una de sus características comunes es que los cuatro tienen anillos que orbitan alrededor de su plano ecuatorial, aunque sólo los de Saturno son brillantes y resplandecientes.

Como las órbitas de Neptuno y de Plutón se cortan, hay períodos en que Plutón no es el planeta más alejado del Sol, sino Neptuno.

Urano fue observado por primera vez en 1781 y Neptuno en 1846. Por tanto, los dos se descubrieron después de la invención del telescopio, con un intervalo de unos sesenta años.

Así pues, estos dos planetas se conocen desde hace pocos años y Neptuno,

Tanto Urano (a la izquierda) como Neptuno (a la derecha) tienen anillos como sus primos Júpiter y Saturno, pero los que orbitan alrededor de Urano son más visibles.

en particular, se descubrió como resultado de complejos estudios matemáticos sobre las órbitas de los demás cuerpos del sistema solar. Su descubrimiento demostró la importancia de las influencias gravitatorias a escala planetaria y las posibilidades de la matemática incluso en el ámbito astronómico.

LA HISTORIA DE LOS DESCUBRIMIENTOS

El astrónomo inglés de origen alemán William Herschel descubrió Urano en 1781, mientras buscaba estrellas dobles con su telescopio de 120 cm de apertura. Al observar un astro que mostraba un disco, creyó que se trataba de un cometa, pero un año más tarde, Lexelle y Barnaba Oriani demostraron que su órbita era casi circular y de ello dedujeron que era un planeta. El descubrimiento fue confirmado por el mismo Herschel, que, en 1787, descubrió dos satélites de Urano: Titania y Oberón. Herschel dedicó el planeta al rey Jorge III de Inglaterra, pero posteriormente fue rebautizado con el nombre de la divinidad griega Urano.

En cambio, el descubrimiento de Neptuno se hizo antes sobre la mesa que con el telescopio. A principios del siglo XIX, los astrónomos habían notado incongruencias entre los datos obtenidos en la observación de la órbita de Urano y los previstos por los cálculos. Se difundió la idea de que estas diferencias quizá eran debidas a la influencia gravitatoria de otro planeta situado todavía más lejos del Sol.

Casi al mismo tiempo, Adams en Cambridge y Le Verrier en París calcularon la supuesta posición del octavo planeta y, en 1846, Galle observó con el telescopio un cuerpo precisamente donde los dos astrónomos habían predicho que debía encontrarse el nuevo planeta. ¡Acababa de descubrirse Neptuno!

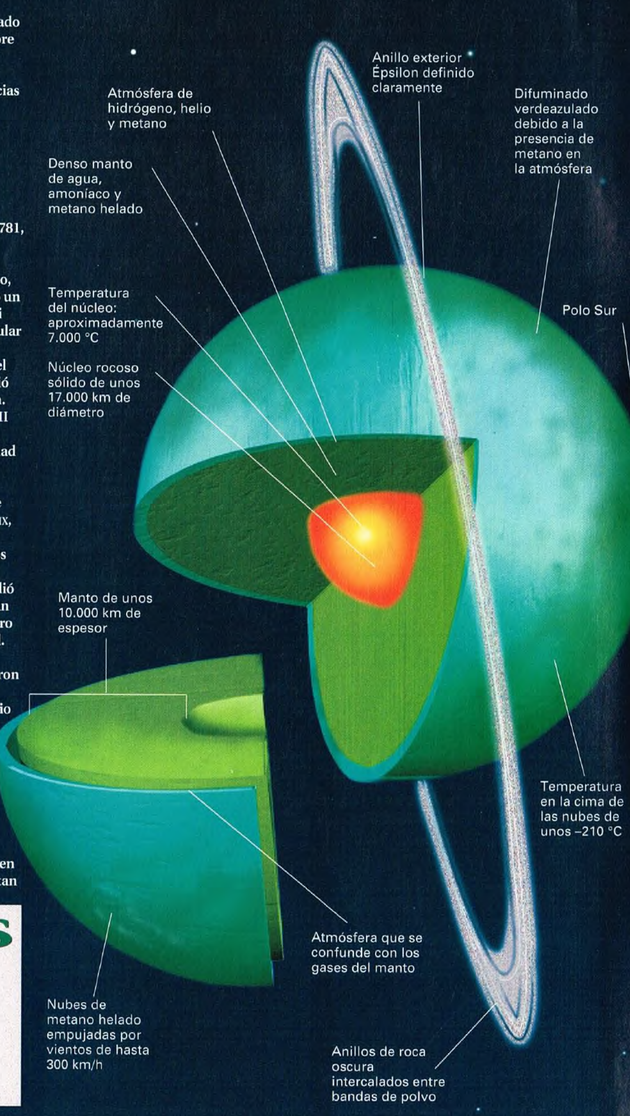
UNA PARTICULARIDAD DE URANO

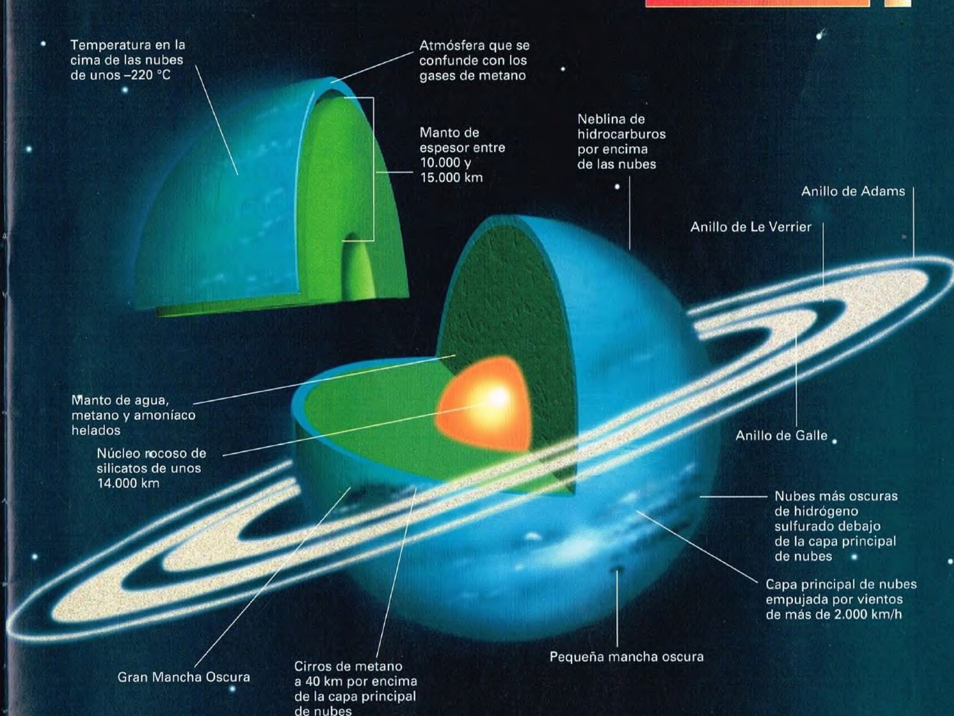
Una característica de Urano es la inclinación de su eje de rotación. Único en el sistema solar, tiene el eje de rotación tan

DATOS

URANO

masa: 8,684 x 10^{28} g
masa (Tierra = 1): 14,54
radio ecuatorial: 25.559 km
radio ecuatorial (Tierra = 1): 4,007
densidad media: 1,29 g/cm^3
densidad (Tierra = 1): 0,23
volumen (Tierra = 1): 62,181
período de rotación: 17 h 18 mn





inclinado que casi coindice con el plano de la eclíptica; además, su polo Norte se encuentra claramente por debajo del plano orbital.

Estas características únicas hacen que desde la Tierra los polos de Urano sean visibles alternativamente durante la mitad de su período de revolución, es decir, 42 años, porque el planeta completa una órbita en unos 84 años.

El motivo que lo ha llevado a una situación tan extraña todavía no está claro: la hipótesis más probable es la de una colisión con otro cuerpo celeste, que podría explicar la insólita posición de su eje de rotación. Sin embargo, el modelo propuesto no permite explicar todas las evidencias observadas.

ESTRUCTURA INTERNA

La estructura interna de los dos planetas es similar y, a grandes rasgos, es la misma que la de los otros dos gigantes gaseosos, Júpiter y Saturno. Su densidad es comparable a la de Júpiter, pero su masa, muy inferior, ha impedido la formación de hidrógeno metálico líquido en su interior. Por debajo de una capa más exterior, formada por hidrógeno y helio, se encuentra una región rica en amoníaco, metano y otros compuestos de carbono y nitrógeno, además de hidrógeno y helio moleculares. En el centro de los dos planetas podría haber un núcleo rocoso.

LAS ATMÓSFERAS DE LOS DOS PLANETAS

Aunque las atmósferas de ambos planetas presentan una composición similar, tienen dinámicas distintas, que son la causa de su diferente aspecto.

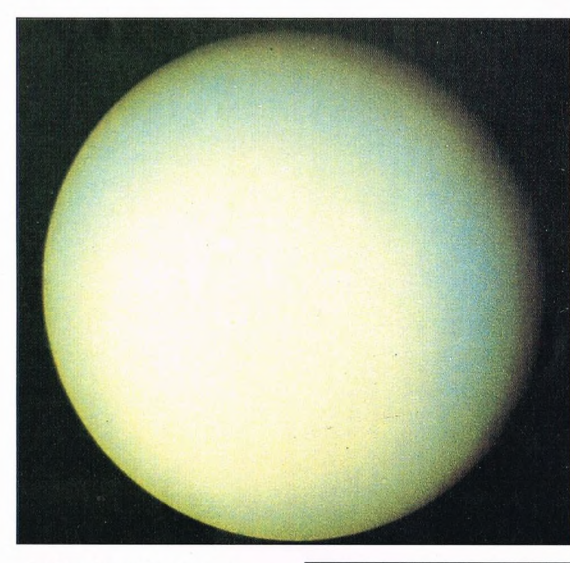
El disco de Urano aparece uniforme, con una preponderancia de tonos verdosos y azulados, y sólo raramente está surcado de pequeñas nubes blanquecinas. Su color se debe a la absorción de la luz solar por el hidrógeno y el metano, que absorben en el rojo y en el infrarrojo, y dejan pasar sólo el verde y el azul.

La inusual posición del eje de rotación de Urano determina una insolación mayor de las regiones polares que de las ecuatoriales, aunque su lejanía respecto al Sol hace que esta diferencia de insolación produzca una variación de temperatura de muy pocos grados (unos 7 K).

DATOS

NEPTUNO

masa: 10,24 x 10^{28} g
masa (Tierra = 1): 17,15
radio ecuatorial: 24.764 km
radio ecuatorial (Tierra = 1): 3,883
densidad media: 1,64 g/cm³
densidad (Tierra = 1): 0,3
volumen (Tierra = 1): 57,675
período de rotación: 16 h 3 mn



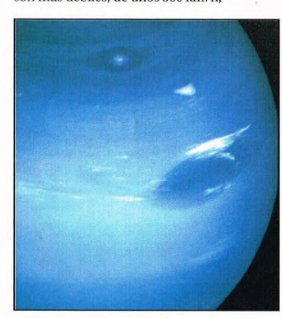
El color verdeazulado que caracteriza el disco de Urano se debe a la presencia de metano en su atmósfera, que absorbe la radiación roja.

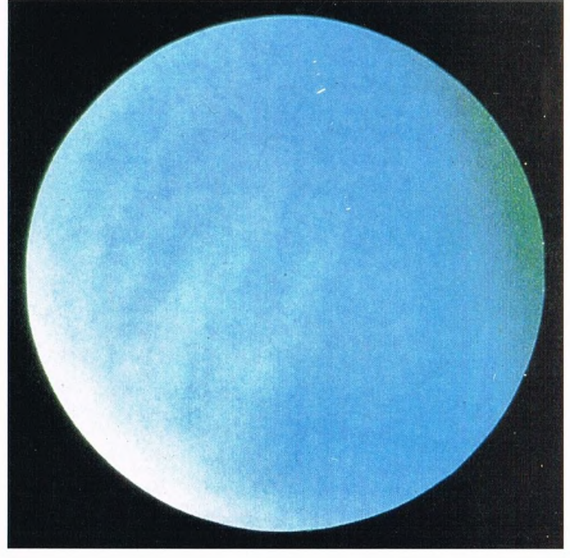
Las formaciones nubosas son poco numerosas y los vientos en las latitudes medias soplan en la misma dirección de los paralelos, en el mismo sentido de rotación del planeta, y se mueven a una velocidad de 600 km/h. En cambio, los que se forman en latitudes menores son más débiles, de unos 360 km/h, y soplan en dirección contraria a la de rotación.

Por el contrario, la atmósfera de Neptuno se caracteriza por una actividad mayor y por tener grandes manchas que perduran durante largo tiempo. Un ejemplo es la Gran Mancha Oscura situada a una latitud de 30° S y del tamaño de la Tierra. Esta formación ciclónica se extiende a lo largo de casi 10.000 km y tarda cerca de 10 días para efectuar una rotación completa en sentido antihorario. En el centro de esta gran mancha hay una masa de nubes blancas que la asemeja a un gran ojo. Una segunda mancha, más pequeña presenta las mismas características que la primera.

Por su atmósfera circulan unos vientos fortísimos de más de 2.000 km/h en sentido contrario a la rotación, creando una estructura de bandas jaspeadas, a lo largo de los paralelos, que se mueven de este a oeste. La velocidad de estos vientos disminuye hacia los polos.

El color azul de este planeta se debe a la presencia de metano en su atmósfera, que absorbe la radiación roja. Además del metano, también hay hidrógeno y helio.





Arriba, la atmósfera de Neptuno está surcada por una cierta cantidad de nubes y manchas de tipo ciclónico como las de Júpiter.
A la derecha, la aparente inmovilidad del disco de Neptuno oculta vientos que pueden alcanzar más de 2.000 km/h.



Arriba, Neptuno y su satélite Tritón, fotografiados por la sonda Voyager 2.

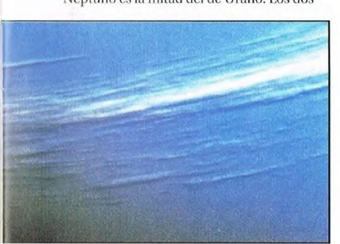
En la atmósfera de Neptuno se ven unos cirros plateados que se extienden a lo largo de miles de km y llegan a una altura de 50 kilómetros. Estas nubes están compuestas de metano condensado que, por efecto de la luz solar, se escinde en etileno y acetileno. Estos gases caen en las capas profundas, donde se calientan y se evaporan, transformándose de nuevo en metano.

Neptuno posee, además, una fuente de calor interna muy fuerte, porque la sonda Voyager 2 confirmó que emite una cantidad de energía que es casi el triple de la que recibe del Sol, que está muy lejos. Esto podría explicar también la diferente actividad de las atmósferas de estos dos planetas. El calor producido en las regiones centrales de Neptuno genera movimientos convectivos que, a su vez, originan los fuertes vientos existentes en su atmósfera. En cambio, Urano es el único de los cuatro gigantes que no tiene una fuente de calor interna, lo cual explicaría la casi total ausencia de perturbaciones que lo caracteriza.

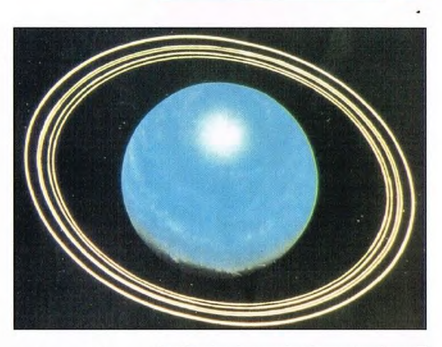
CAMPOS MAGNÉTICOS

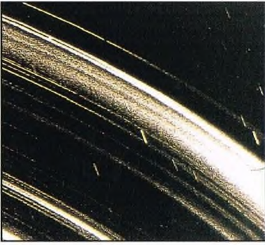
Ambos planetas tienen un campo magnético significativo, aunque el de Neptuno es la mitad del de Urano. Los dos campos tienen en común una extraña característica: el eje del campo magnético no sólo no coincide con el de rotación, sino que el ángulo que forman tiene en ambos casos un valor muy elevado, el mayor de todo el sistema solar. En efecto, mientras que los demás planetas tienen el eje magnético inclinado unos pocos grados respecto al de rotación, el de Urano está inclinado 55° y el de Neptuno 47°.

Gracias también a los datos que proporcionó la sonda Voyager 2, se descubrió que el origen del campo magnético de Urano y de Neptuno no está en las regiones centrales de estos planetas, sino en una capa situada por encima del núcleo rocoso. En el primero se ha comprobado que la fuente está a una tercera parte del radio del planeta y en el segundo, a la mitad del radio. La causa del campo magnético siempre es la misma: la presencia de una masa fluida en continuo movimiento debido a la rotación del planeta.



Nubes en la atmósfera de Neptuno. Están compuestas de metano en las capas exteriores y de amoníaco en las más interiores.





A la derecha, los anillos de Urano tienen un espesor muy pequeño en comparación con su diámetro. Abajo a la derecha, los anillos de Urano están compuestos de partículas muy pequeñas, con una superficie irregular y un coeficiente de reflexión bajo.

LOS ANILLOS

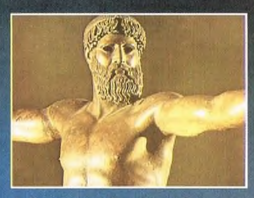
Como los otros planetas gaseosos, Urano y Neptuno tienen anillos que orbitan alrededor de su plano ecuatorial.

Los anillos de Urano son muy oscuros (como los de Júpiter), pero (como los de Saturno) están compuestos por partículas

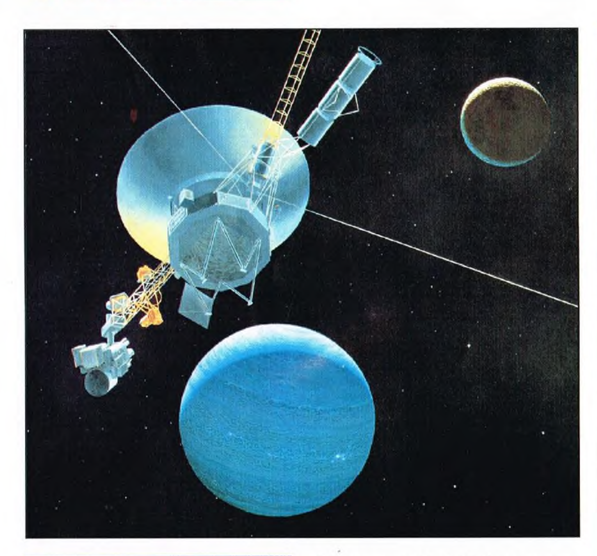
LOS MITOS Y LAS ESTELLAS

URANO Y NEPTUNO

En la tradición mitológica, Urano representa la divinidad que personifica el cielo y es, al mismo tiempo, hijo y marido de Gea, que simboliza la divinidad de la Tierra. Urano y Gea engendraron los Cíclopes y los Titanes, pero Urano, al temer que éstos pudiesen destronarlo, los confinó en el Tártaro. Posteriormente, Cronos, otro de sus hijos, instigado por su madre, lo asaltó de improviso y lo castró. De su sangre esparcida sobre la Tierra nacieron los Gigantes, mientras que del mar emergió Afrodita.
Según la mitología romana, Neptuno era el dios del mar. Al tomar la figura griega de Poseidón, adquirió también su genealogía, sus vicisitudes y sus funciones, como la de proteger a pescadores y marineros. Considerado por los romanos una de las principales divinidades, le fueron dedicados muchos templos.



Arriba, estatua de Poseidón, el Neptuno de los griegos (Atenas, Museo Nacional).



ENCUENTRO DE LA SONDA VOYAGER 2 CON URANO

Urano y Neptuno fueron visitados por la sonda estadounidense Voyager 2, que anteriormente ya se había acercado a Júpiter y a Saturno.
La sonda llegó a las proximidades de Urano en enero de 1986 y su permanencia en las cercanías del planeta se limitó a unas pocas horas. El motivo de esta cita tan corta se debió a la trayectoria que debía seguir para continuar su viaje hacia Neptuno, su última etapa. A pesar de este tiempo tan breve, la cantidad de datos enviada por la sonda fue enorme y permitió aumentar notablemente el patrimonio de nuestros conocimientos.
Las imágenes confirmaron la presencia de sistemas nubosos, aunque raros, y de una niebla de metano en las capas superiores de la atmósfera. La sonda también envió imágenes de las lunas de Urano: además de las cinco que ya se conocían, se identificaron otras diez.
Su particular trayectoria hizo pasar la sonda Voyager 2 a poco más de 30.000 km de la superficie de Miranda, una luna de Urano, de la que la sonda envió fotografías con una resolución de menos de un kilómetro.

ENCUENTRO DE LA SONDA VOYAGER 2 CON NEPTUNO

Neptuno fue explorado por la sonda Voyager 2 en agosto de 1989. Cuando la sonda llegó al sistema de Neptuno, éste era, a todos los efectos, el planeta más alejado de Sol. La cápsula pasó a sólo 4.500 km del polo Norte y, gracias a una serie de datos tomados con el radar de a bordo, fue posible calcular exactamente el período de rotación del planeta, que resultó ser de 16 horas y 3 minutos, tres horas menos de lo que habían estimado los astrónomos terrestres.
Los técnicos que gestionaron la misión tuvieron que resolver los problemas debidos a la escasa iluminación, ya que Neptuno está 30 veces más alejado del Sol que la Tierra.
Las dificultades se resolvieron y la sonda envió unas espléndidas imágenes de este planeta azul.
La sonda Voyager 2 identificó ocho satélites, mientras que desde la Tierra sólo se habían observado dos. Todos sus satélites tienen un movimiento paralelo al sentido de rotación, excepto Tritón, que es retrógrado, con un período de rotación igual al de su revolución (como nuestra Luna) y, por tanto, siempre muestra la misma cara a Neptuno.

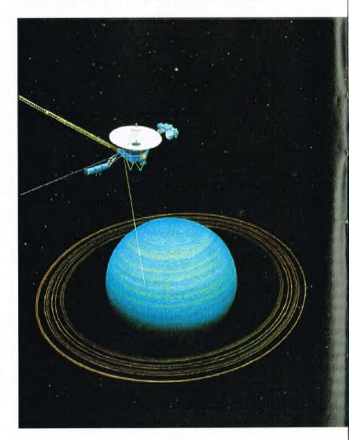
de diámetro variable, desde algunos metros hasta dimensiones microscópicas en forma de polvo fino. Hasta el momento se han descubierto 11 anillos, todos muy débiles; el más brillante se conoce con el nombre de anillo Épsilon. Los anillos de Urano fueron los primeros en ser observados desde la superficie de la Tierra después de los de Saturno. Este descubrimiento tuvo una importancia considerable, porque en la comunidad científica se confirmó la idea de que los anillos eran una característica común de los planetas y no una peculiaridad de Saturno.

Neptuno posee un sistema de cuatro anillos, dos principales y dos más tenues, y un disco de materia difusa que se extiende hasta la parte más externa de la atmósfera y que contiene mucha más materia que los de Júpiter. Las ocultaciones de estrellas habían inducido a los observadores desde la Tierra a lanzar la hipótesis de la existencia de arcos no cerrados en órbita alrededor de Neptuno, pero la sonda Voyager 2 demostró que, en realidad, se trata de capas más densas de materia situadas en uno de los anillos principales.

LOS SATÉLITES DE URANO

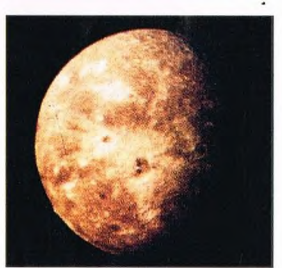
La trayectoria de la sonda Voyager 2 permitió fotografiar los principales satélites de Urano, con lo que fue posible conocer sus características más importantes.

Arriba a la izquierda, en el dibujo se ha representado la sonda Voyager 2 en su encuentro con Neptuno y Tritón (al fondo) en 1989.
Abajo, la sonda se encontró con Urano el 24 de enero de 1986. Son visibles los anillos conocidos.

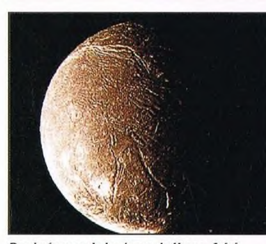








Arriba, de izquierda a derecha, las otras lunas principales de Urano: Titania, Umbriel y Oberón, que también es la más alejada del planeta.



Dos imágenes de las lunas de Urano: Ariel (arriba), tomada desde una distancia de 190.000 km, y Miranda (abajo).



Las lunas tienen una velocidad de rotación igual a la de su revolución, por lo que siempre presentan la misma cara al planeta.

Las imágenes de Oberón, el satélite mayor, han puesto de manifiesto la presencia de una montaña de 6.000 m de altitud, una altura muy considerable si se piensa que el radio de este satélite no llega a 800 kilómetros.

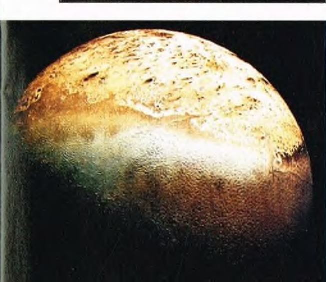
Titania también presenta una característica desproporcionada para sus dimensiones: su superficie está surcada por fracturas de hasta 100 km de anchura y de varios centenares de kilómetros de longitud.

Los mejores detalles se han observado en Miranda. La sonda pasó a unos 30.000 km y detectó dos tipos de suelo, uno más antiguo con muchísimos cráteres y otro mucho más reciente y menos accidentado. En general, en su superficie hay varias capas superpuestas que atestiguan una anterior actividad tectónica.

LOS SATÉLITES DE NEPTUNO

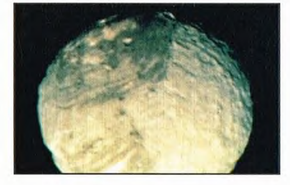
El mayor satélite de Neptuno es Tritón, que también es el único que se mueve en sentido retrógrado. Dado que el movimiento de rotación también es retrógrado y tiene la misma velocidad de revolución, Tritón presenta siempre la misma cara a Neptuno. El plano de su órbita no coincide con el de los demás satélites y está inclinado 20° respecto al del ecuador del planeta.

El paso de la sonda permitió averiguar los componentes de la atmósfera de Tritón. Se comprobó que está constituida por nitrógeno y metano. Además, en su superficie hay pocos cráteres. Por una casualidad muy afortunada, en el momento del paso de la sonda se estaba produciendo una erupción con partículas lanzadas a la atmósfera hasta una altura de varios kilómetros.



A la izquierda, una vista de Tritón, la mayor luna de Neptuno.

Abajo, Proteo, satélite de Neptuno, de un diámetro de sólo 416 kilómetros.



LA ASTRONOMÍA EN CASA

OBSERVACIÓN DE URANO Y NEPTUNO

Saturno fue el último planeta observado antes de la invención del telescopio. Las distancias a Urano y Neptuno son demasiado grandes para que los hombres de la Antigüedad pudiesen percibir su existencia.

A SIMPLE VISTA

Aunque en teoría Urano, con su magnitud de 5,5, podría ser visible a simple vista, en la práctica nunca se había observado hasta que lo hizo Herschel en 1781 con un pequeño telescopio. Neptuno también es invisible sin el empleo de un instrumento.

CON UN TELESCOPIO

A pesar de que con unos prismáticos es posible seguir los movimientos de Urano por el cielo, su característico disco de color verde y azul sólo puede verse con un telescopio. Ni los mayores telescopios situados en la Tierra logran distinguir ningún detalle de la superficie de Urano y de Neptuno.

ESTRELLAS VARIABLES

Nuestra vida es inconmensurablemente más corta que la de una estrella. Por este motivo, las estrellas nos parecen cuerpos eternos y, por tanto, inmutables. En realidad, también siguen una línea evolutiva, durante la cual varía su característica más importante: la luminosidad.



Según el concepto aristotélico del mundo, el universo estaba poblado de cuerpos celestes que, a los ojos del hombre, parecían eternos e inmutables en el tiempo. Esta concepción del universo fue cambiando con el paso de los siglos, a medida que la astronomía se transformaba de ciencia especulativa en ciencia de la observación gracias al empleo de los primeros telescopios en el siglo XVII. Las observaciones efectuadas en los siglos siguientes demostraron que, en realidad, los cuerpos celestes que observamos están muy lejos de ser inmutables y sólo aparecían así a los ojos de los hombres de la Antigüedad, privados de instrumentos de observación adecuados. Actualmente ya se ha aceptado que la variabilidad es una característica propia de todos los cuerpos estelares. La física estelar ha demostrado que todas las estrellas pasan por diversas etapas evolutivas, durante las cuales sus principales características, como el color y la luminosidad, sufren profundas variaciones.

Naturalmente, éstas se producen en la escala de tiempo característica de la vida de la estrella, es decir, de decenas o centenares de millones de años. Sin embargo, algunas clases de estrellas presentan variaciones importantes de su luminosidad a escala de tiempo mucho más breves que las evolutivas. En estos casos, se trata de intervalos de tiempo del orden de algunos meses e incluso de días o fracciones de día.

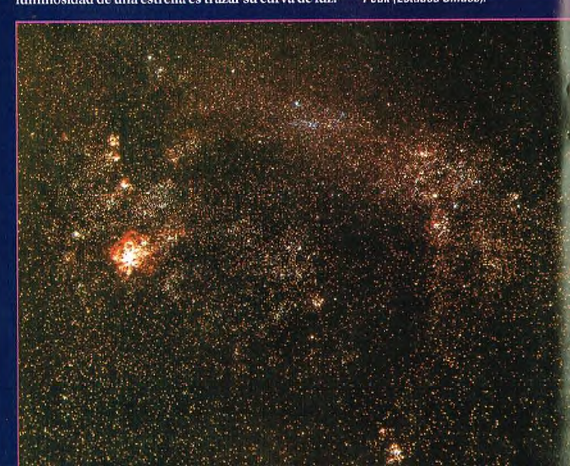
EN BUSCA DE LA VARIABILIDAD

Es posible detectar estas variaciones de luminosidad midiendo varias veces el flujo luminoso de una estrella en el transcurso de varias noches sucesivas. Pero ésta no es una tarea tan sencilla como parece. En primer lugar, es preciso tener en cuenta que las condiciones atmosféricas no se mantienen necesariamente estacionarias durante las observaciones, sino que pueden variar de forma notable incluso en el transcurso de una misma noche. Por este motivo, es posible que los valores de flujo relativos a una misma estrella muestren diferencias no despreciables de una noche a otra. Esto hace más difícil comparar datos tomados en noches diferentes. En consecuencia, es importante poder distinguir eventuales variaciones de flujo verdaderas, debidas a las variaciones de luminosidad intrínsecas de la estrella, de las ficticias, debidas a la variación de las condiciones atmosféricas. En este caso, basta comparar los flujos correspondientes a la estrella en cuestión con los de otras estrellas de referencia presentes en el campo del telescopio. En caso de una variación de flujo debida al cambio de las condiciones atmosféricas, se observará sistemáticamente el mismo efecto en todas las estrellas examinadas.

TIPOS DE ESTRELLAS VARIABLES

Una vez obtenidas medidas fiables, una manera muy eficaz de visualizar las eventuales variaciones de luminosidad de una estrella es trazar su curva de luz:

Arriba, el cúmulo globular NGC 5897, situado en la constelación de la Balanza, uno de los sistemas formados por centenares de miles de estrellas, entre las cuales hay numerosas estrellas variables.
Abajo, la Gran Nube de Magallanes fotografiada por el observatorio de Kitt Peak (Estados Unidos).

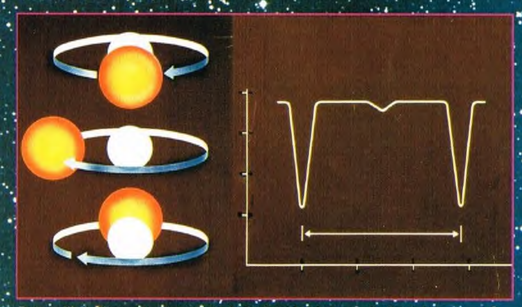


LA CONSTELACIÓN DE CEFEO

En la región de la constelación de Cefeo se encuentra la galaxia NGC 6946 y el cúmulo estelar NGC 6939. En esta galaxia (en el centro de la foto de esta página) se han observado varias supernovas.

LOS NOMBRES DE LAS ESTRELLAS VARIABLES

La nomenclatura de las estrellas variables sigue una convención fija. Una estrella se indica con una letra del alfabeto seguida del nombre latino de la constelación a la que pertenece. En caso de que existan diversas estrellas variables en la misma constelación, éstas se identifican mediante una numeración progresiva. Por ejemplo, la V73 *Lyrae* es la 73ª estrella variable de la constelación de la Lira.



En este dibujo se muestra la variación de luminosidad de la estrella Algol de la constelación de Perseo, ejemplo de variable de eclipse, es decir, de un sistema doble en el que dos componentes se ocultan mutua y alternativamente.

LOS DÍAS JULIANOS

Por una cuestión de comodidad, en astronomía las fechas se expresan habitualmente en días julianos. En este sistema, que se empezó a utilizar a finales del siglo XVI, la medida del tiempo se expresa con el número de días transcurridos desde el hipotético 1 de enero de 4713 a.C. Sin embargo, contrariamente al día solar, el día juliano empieza a mediodía en lugar de medianoche. Por ejemplo, el 3 de agosto de 1998 corresponde a la fecha juliana 2.451.029.

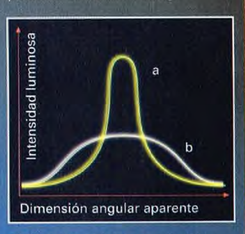
un diagranma que muestra el flujo luminoso en función del tiempo.

Las estrellas cuya magnitud no es constante se llaman genéricamente con el nombre obvio de estrellas variables. En su mayoría, se trata de estrellas que forman parte de sistemas binarios. En efecto, en estos casos, cuando el plano orbital del sistema está más o menos alineado con la visual del observador, puede ocurrir que una de ellas quede parcial o totalmente eclipsada por su compañera y, por tanto, aparezca menos brillante. Naturalmente, el fenómeno de la variabilidad resulta periódico y se repite a intervalos de tiempo iguales al período orbital del sistema binario. Estas estrellas reciben también el nombre de variables de eclipse. Aparte de éstas, hay las llamadas estrellas variables intrínsecas, cuyas variaciones de luminosidad se deben a cambios de las condiciones físicas de la estrella como, por ejemplo, el radio y la temperatura.

Actualmente, sólo en nuestra Galaxia, se han catalogado cerca de 30.000 estrellas variables. Un primer criterio de clasificación consiste en subdividirlas en dos clases diferentes en base al carácter de su variabilidad. En algunas estrellas se observan variaciones de magnitud episódicas que pueden repetirse a intervalos de tiempo irregulares. Constituyen la clase de las variables eruptivas o cataclísmicas, de las que forman parte, por ejemplo, las novas y las supernovas. En las variables eruptivas, las variaciones de luminosidad están ligadas a violentas explosiones provocadas por bruscas alteraciones de la estructura de la estrella que, según se produzcan en las capas superficiales o internas, pueden provocar su destrucción parcial (novas) o total (supernovas). Por tanto, estos fenómenos sólo se pueden repetir en el tiempo en el caso de las novas, que se llaman entonces novas recurrentes.

EL PERFIL DE INTENSIDAD

El valor del flujo luminoso medido para una determinada estrella suele calcularse partiendo de su imagen obtenida con un telescopio. Naturalmente, cuanto más nítida es, más precisa es la medida del flujo. A su vez, la nitidez de una imagen astronómica depende de las condiciones atmosféricas existentes durante la noche. En efecto, la presencia de nubes y de eventuales turbulencias atmosféricas degradan fuertemente su calidad. Al pasar a través de capas de aire en movimiento o de diferentes densidades, la señal luminosa procedente de una estrella se hace borrosa. Esto se ve claramente en su perfil de intensidad, es decir, la curva que muestra la distribución del flujo en función de las dimensiones angulares de la imagen. El perfil de intensidad estelar resulta más aplanado y más difuso de lo normal: el flujo de la estrella tiende a confundirse con el originado por el fondo del cielo y, en la práctica, se pierde una parte de él. Por tanto, la forma del perfil de intensidad de una estrella es un buen indicador de la excelencia de las condiciones de una noche. Su amplitud a media altura, expresada en segundos de arco, se emplea especialmente como parámetro de referencia. Este parámetro se llama *seeing*.



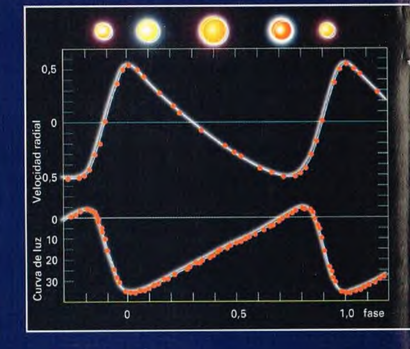
Perfil de intensidad de una estrella en función de sus dimensiones angulares, observada en una noche con condiciones atmosféricas normales (a) y malas (b).

LAS VARIABLES PERIÓDICAS

En cambio, la magnitud de otras estrellas puede variar con mayor regularidad y las modulaciones observadas también pueden ser periódicas, es decir, tienden a repetirse en el tiempo a intervalos más o menos regulares. Evidentemente, en estos casos, la forma de la curva de luz también sigue un proceso de tipo periódico, que se caracteriza por alternancias de máximos y mínimos. La diferencia de magnitud registrada entre un máximo y el siguiente mínimo determina la amplitud de la curva de luz, mientras que el intervalo de tiempo entre dos máximos sucesivos define el

Abajo a la izquierda, el cúmulo globular doble de Perseo, llamado η y χ* Persei. *Se distinguen bien los dos cúmulos que lo constituyen: NGC 869 y NGC 884. Es una región muy rica en objetos estelares, cúmulos abiertos y nebulosidades.
***Abajo, curva de luz y curva de velocidad radial de δ* Cephei.**






TELEGRAMMA

OBS TF4317 OSSERVATORIO

12/1

TERAMO

2C2C 149/0013 PARIS TELEXE DE MEUDON 24 12 1215

SAGITTARIUS NOVA KUWANO 19501 41006 44167 17457 11845

03090 37066 32392 CONFIRMED 41011 BY SIMMONS SWEETSIR AND

SHERROD MARSDEN

CT OBS 19501 41006 44167 17457 11845 03090 37066 32392 41011

Telegrama histórico para la astronomía, en el que se comunica el descubrimiento de la Nova Sagittari *1974. Fue distribuido por el Central Bureau for Astronomical Telegrams.*









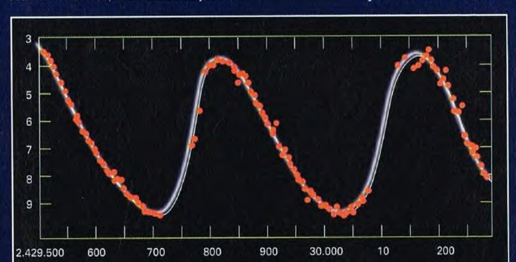
En las cuatro imágenes de arriba se muestra la aparición de la Nova Cygni *1975, una de las novas más brillantes. Las fotos, tomadas con el telescopio del observatorio de Teramo (de 20 cm de apertura), muestran, respectivamente, el campo estelar antes de su aparición (1); la nova en el máximo de luz (2); la nova en quinta magnitud (3); la nova un mes después de la explosión, cuando su magnitud máxima de 1,7 se redujo a la octava magnitud (4).*

período de variabilidad de la estrella. Las estrellas de este tipo se denominan variables pulsantes. La comparación entre las características de las curvas de luz de estas estrellas variables y la duración de sus períodos proporciona, además, un criterio para una clasificación posterior. Según este criterio, las estrellas variables se dividen en diferentes clases según su similitud con una estrella prototipo, de la que toma el nombre cada clase. De esta manera, se habla de estrellas cefeidas para indicar aquella clase de variables que tienen características análogas a las de la estrella δ *Cephei.* Aunque pueda parecer bastante arbitrario, éste es el criterio más sencillo de que disponemos. Una división aparentemente más lógica de las estrellas variables, basada en el tipo espectral, no es aplicable, porque sólo se conoce el espectro de algunas de ellas. Sin embargo, en general, en el diagrama HR se colocan en la región de las gigantes y supergigantes. Además, la distinción entre los tipos de estrellas variables es mucho más complicada, porque, a su vez, cada clase puede estar dividida en numerosas subclases.

UN MODELO TEÓRICO

Las interpretaciones teóricas de las modulaciones de luminosidad observadas en las variables pulsantes no siempre convergen hacia un modelo único, sino que dependen de cada caso. Sólo en las cefeidas se ha logrado definir un modelo coherente. En particular, estas modulaciones pueden interpretarse con la hipótesis de que el radio de la estrella sufre oscilaciones periódicas alrededor de un valor medio al que corresponde la condición de equilibrio hidrostático. La variación del radio estelar implica tanto una diferencia en las dimensiones de la superficie emisora como en la temperatura de la estrella. Según las leyes de la física, esto produce una variación de luminosidad. Por tanto, las estrellas variables son objetos que están en condiciones de inestabilidad. Desde el punto de vista de la física estelar, su estudio es particularmente interesante y permite deducir datos sobre las estrellas en fase de evolución.

Abajo, curva de luz de Mira Ceti según observaciones de la AAVSO (Asociación americana de observaciones de estrellas variables). Abscisas: días julianos.

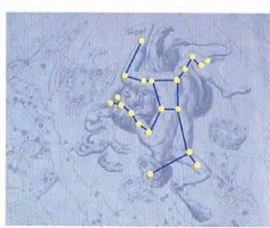


EL NOMBRE NOVA

El nombre nova, es decir, nueva, deriva del latín y, en la Antigüedad, se atribuía a estas estrellas porque se pensaba que tales acontecimientos representaban el nacimiento de una nueva estrella. Durante la explosión de una nova, la luminosidad de la estrella aumenta varios órdenes de magnitud, hasta el punto de que puede ser visible en pleno día.

HÉRCULES

La constelación de Hércules evoca al mítico héroe griego que tuvo que soportar los famosos 12 trabajos.



Arriba, la constelación de Hércules recuerda al héroe de la mitología griega, célebre por su fuerza excepcional.



Hércules es una bella constelación, situada no muy lejos del Boyero. Aunque no contiene estrellas muy luminosas, puede identificarse bastante fácilmente.

Según la mitología, Hércules se enfrentó a 12 trabajos sobrehumanos, algunos de los cuales se recuerdan con los nombres que caracterizan a otras constelaciones, como el León (Leo), el Dragón y la Hidra.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

El cuerpo principal de la constelación, identificado por un trapecio de estrellas, está situado entre Arturo, de la constelación del Boyero, y Vega, en la Lira, uno de los vértices del Triángulo Estival.

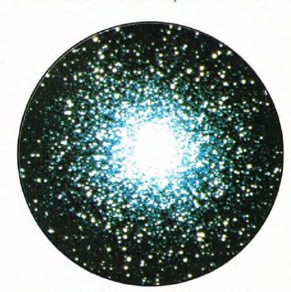
Para encontrar Hércules también se puede aprovechar la alineación de las estrellas Delta, Épsilon y Zeta de la Osa Mayor.

ESTRELLAS NOTABLES

Alfa, o Ras Algethi, es, al mismo tiempo, una estrella doble y una variable. La componente principal tiene una magnitud que varía entre 3,1 y 3,9 de manera irregular. Es una supergigante roja, con un diámetro equivalente a varios centenares de veces el de nuestro Sol. Si sustituyésemos el astro del día por esta estrella en el centro del sistema solar, contendría la órbita de la Tierra. Éste es el destino que le espera a nuestro planeta: dentro de algunos miles de millones de años, el Sol se habrá expandido hasta contener a la Tierra en su interior.

En cambio, la componente secundaria de Ras Algethi es una estrella de quinta magnitud que brilla con una luz verdeazulada. Esta estrella efectúa un giro completo alrededor de su voluminosa compañera en unos 4.000 años. Para separar las dos componentes de este sistema es suficiente un pequeño telescopio.

Resulta más difícil de separar el par de estrellas que constituyen el sistema de Zeta: una pequeña estrella roja de magnitud 5,5 tarda más de 34 años en completar una órbita alrededor de la principal, una estrella amarilla de magnitud 2,8. Cuando las dos estrellas se encuentran a la máxima distancia, basta un telescopio de 10 cm de apertura para resolverlas, pero a la distancia mínima es necesaria una apertura de 25 cm.



Arriba, M13 es el más bello de los cúmulos globulares del hemisferio boreal. En las noches más claras es visible a simple vista como una estrella desenfocada.

DÓNDE BUSCARLA

HÉRCULES

La constelación de Hércules abarca una región del cielo comprendida entre 4° N y 51° N de declinación, y entre 15 horas 45 minutos y 18 horas 55 minutos de ascensión recta. Es íntegramente visible todo el año desde latitudes superiores a los 86° N y parte del año en la región comprendida entre 86° N y 39° S. Por debajo de 39° S nunca es íntegramente visible. Desde latitudes como la de España, Hércules está cerca del cenit cuando pasa por el meridiano.

OBJETOS EN HÉRCULES

La principal atracción de toda la constelación de Hércules es M13, el cúmulo globular más luminoso del hemisferio boreal, tanto que es visible a simple vista. En efecto, M13 es uno de los pocos objetos de este tipo que son visibles sin la ayuda de instrumentos. Es fácil identificarlo a lo largo de uno de los lados del trapecio central: está entre las estrellas Eta y Zeta.

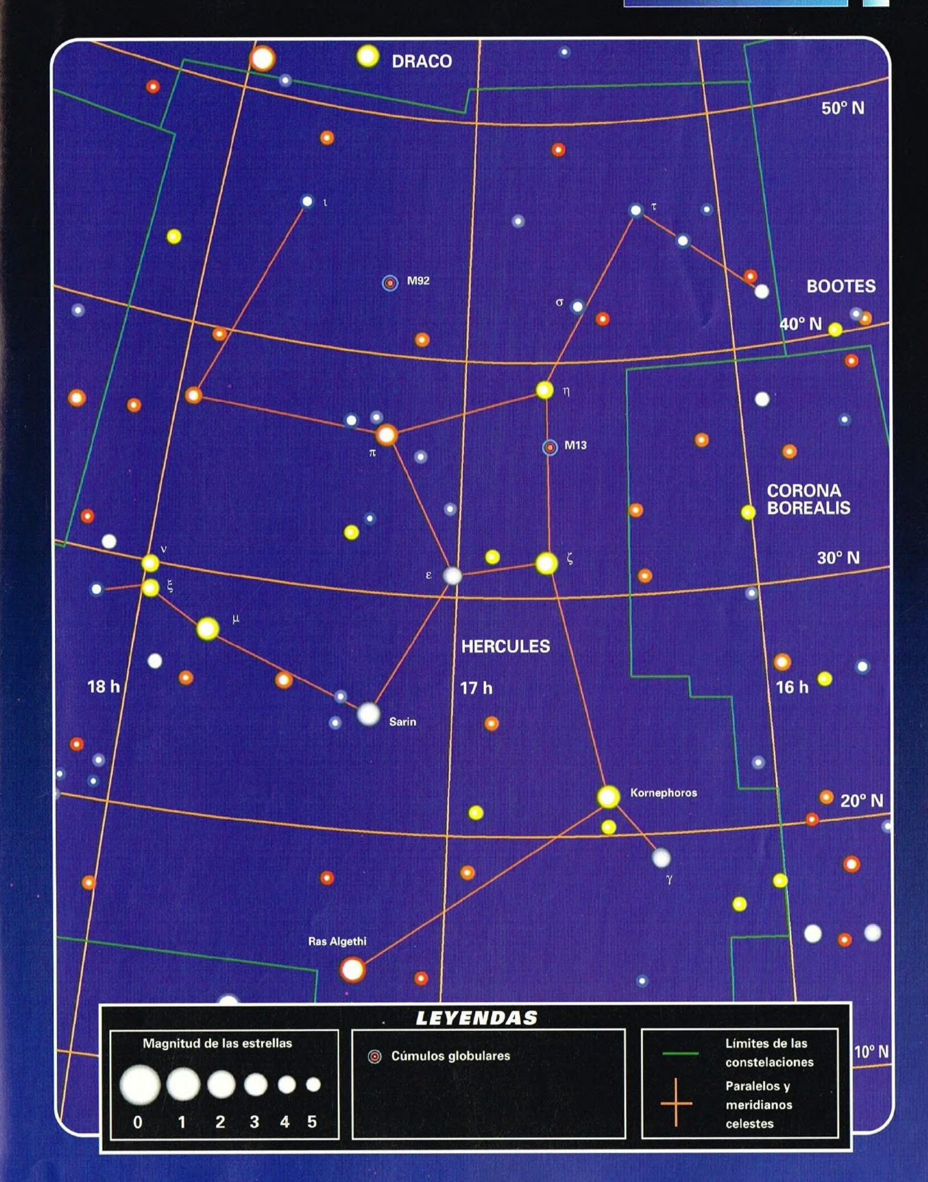
Si se observa con unos prismáticos, aparece como un minúsculo copo luminoso de forma redondeada. Telescopios de aperturas cada vez mayores permiten ir resolviendo sus regiones más externas y mejorar a la vez la visión de la condensación central. Se cree que M13 contiene varios centenares de miles de estrellas.

Un segundo cúmulo globular es M92, que tiene unas características similares a M13. Sin embargo, observado con telescopio, muestra un aspecto más compacto.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

HÉRCULES

Hércules es el héroe nacional griego; dotado de una fuerza extraordinaria, fue obligado, por voluntad del rey Euristeo de Tirinto, a realizar los famosos 12 trabajos. Entre ellos, la muerte del león nemeo, representado en el cielo por la constelación zodiacal de Leo. Un día, Hércules mató a Neso, un centauro que asediaba a su mujer Deyanira. Moribundo, Neso aconsejó a Deyanira que pusiese su camisa a Hércules para asegurarse el amor eterno de su marido. Pero la sangre del centauro con que estaba manchada la camisa actuó como veneno y produjo la muerte del héroe. Júpiter, a quien el mito considera padre de Hércules, decidió que su hijo fuese llevado al cielo junto a los otros dioses.


DRACO
50° N
BOOTES
40° N
CORONA BOREALIS
30° N
HERCULES
18 h
17 h
16 h
M92
M13
Sarin
Kornephoros
Ras Algethi
20° N
10° N
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos globulares
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

EL TRANSBORDADOR ESPACIAL RUSO

El Buran se construyó como respuesta al éxito de los transbordadores espaciales estadounidenses. Requirió catorce años de estudios y preparativos, pero tan sólo ha volado una vez.



El 15 de noviembre de 1988, tres horas y media después del despegue, un transbordador espacial aparecía en los nublados cielos de Rusia y planeaba hacia el cosmódromo de Baikonur. El transbordador espacial ruso, el Buran, cuyo nombre significa en ruso «tempestad de nieve», acababa de completar con éxito su vuelo inaugural.

Cuando los tres paracaídas de freno se desplegaron en la popa del transbordador poniendo fin al vuelo, también se cerró un capítulo de la historia de la astronáutica. Las relaciones entre Rusia y Estados Unidos estaban mejorando, lo que significaba que el transbordador ya no sería necesario como posible lanzador de ingenios nucleares contra Estados Unidos. El Buran, producto de catorce años de trabajo y planificación secretos, ya no volvería a volar nunca más.

DESARROLLO PRELIMINAR

El interés de la Unión Soviética por un avión espacial reutilizable surgió en los años sesenta, pero no fue hasta 1972, fecha en que Estados Unidos decidió desarrollar un transbordador espacial para su empleo en órbita baja, cuando la Unión Soviética empezó a diseñar su vehículo equivalente. Valentin Glushko fue nombrado responsable y desplazó los intereses de la investigación espacial soviética de la carrera hacia la Luna a las misiones en órbita terrestre. En 1974, suprimió la oficina de proyectos Korolev, un ente estatal que de inmediato se convirtió en el NPO Energía. Apenas nombrado, Glushko canceló el programa lunar y los trabajos del cohete N1. Dos años más tarde, se concedió la aprobación gubernamental para iniciar el proyecto Buran.

El proyecto estaba dividido en dos partes. El gigantesco cohete Energía, que habría colocado el transbordador en órbita, sería construido por el NPO Energía, mientras que el transbordador lo construiría otra oficina de proyectos conocida como NPO Molniya.

ENTRENAMIENTO DE LOS PILOTOS

El nuevo vehículo espacial requería el empleo de una tripulación que, evidentemente, tendría que ser adiestrada. De inmediato se seleccionó un grupo de pilotos de la aviación civil con el fin de prepararlos para el vuelo en el transbordador espacial. El primero de los pilotos fue Igor Volk. «Volk» significa «lobo» en ruso, por lo que el grupo se conoció como «la manada de lobos».

Para pilotar el Buran se seleccionaron dos grupos de cosmonautas diferentes, uno civil y otro militar. Volk y Rimantas Stankyavichius efectuaron el primer aterrizaje automático del Buran en diciembre de 1986. Juntos, estos dos cosmonautas efectuaron 16 de los 24 vuelos de prueba previstos antes del viaje inaugural de noviembre de 1988, pero también otras dos tripulaciones participaron en el adiestramiento y en las pruebas de aterrizaje del transbordador. Estas últimas tripulaciones estaban constituidas, respectivamente, por Anatoli

DATOS

BURAN

Peso total en el lanzamiento: hasta 105 toneladas
Cota orbital: de 200 a 1.000 km
Longitud: 33 m
Altura máxima: 16,5 m
Dimensiones de la bodega de carga: 4,7 m de anchura x 17 m de longitud
Tripulación posible: de 2 a 10 personas
Duración máxima de una misión: 30 días
Número de lanzamientos efectuados: 1
Fecha del lanzamiento: 15 de noviembre de 1988



A la derecha, el Buran efectuó numerosos vuelos de prueba acoplado a un avión. En la foto se ve el transbordador espacial ruso en vuelo, acoplado a un gigantesco avión Mriya.

El transbordador estaba revestido de 38.000 losetas para protegerle contra el calor en el momento de su entrada en la atmósfera

Arriba, después de un intento fallido, el Buran fue lanzado desde el cosmódromo de Baikonur.

A la derecha, el transbordador y su cohete lanzador rodeados de sus torres de servicio. El primer lanzamiento fue cancelado debido al mal funcionamiento de uno de los brazos móviles de una torre en el momento de su retirada.

EL BURAN Y EL COHETE LANZADOR ENERGÍA

El transbordador espacial ruso es lanzado al espacio por el cohete Energía.



Arriba, antes de su lanzamiento, el Buran fue acoplado al cohete lanzador Energía en el edificio de ensamblaje. Una vez preparados, los dos vehículos fueron llevados hasta la plataforma de lanzamiento por cuatro locomotoras a lo largo de una vía.

Levchenko y Alexander Shchukin, y por Ivan Bachurin y Alexei Borodai. En 1979 fueron seleccionados seis pilotos militares, mientras que otros cosmonautas fueron elegidos en 1983, 1985, 1988 y 1989.

Sin embargo, los únicos pilotos del Buran que volaron efectivamente por el espacio fueron Volk y Levchenko. Se previó que Volk comandase el primer vuelo pilotado del Buran y, para que adquiriese experiencia de vuelo en el espacio, en julio de 1984 estuvo once días a bordo de la estación espacial Salyut 7. Tras su retorno a la Tierra, y para evaluar sus reacciones, se le hizo pilotar un helicóptero y después un avión.

ADELANTE CON EL PROYECTO

Mientras los grupos de cosmonautas se estaban entrenando, el prototipo del Buran continuaba su propio desarrollo. Entre 1982 y 1984 se pusieron en órbita cuatro transbordadores de pequeñas dimensiones para evaluar la resistencia de las losetas de revestimiento térmico durante la entrada en la atmósfera. La primera versión de prueba del Buran empezó los ensayos el 29 de diciembre de 1984. Hasta aquel momento, los retrasos y el incremento de los costes habían amenazado con la cancelación del proyecto.

Pero el 28 de abril de 1985, el transbordador espacial estadounidense Challenger fue lanzado en una órbita fuertemente inclinada que lo condujo por encima de Rusia. Los radares de seguimiento soviéticos comprobaron que el Challenger había descendido de cota sobre Moscú, para luego volver a ascender. Las autoridades militares soviéticas pensaron que el transbordador estadounidense estaba probando la ruta de bombardeo sobre la capital soviética.

Inmediatamente, el Politburó, el órgano de gobierno de la Unión Soviética, reaccionó confirmando la continuación del proyecto del transbordador espacial soviético, que habría podido emplearse para bombardear las ciudades estadounidenses. El 10 de noviembre de 1985 se efectuó el primer vuelo de prueba del Buran. La versión experimental del transbordador estaba equipada con cuatro motores de reacción situados cerca de la cola para permitir que efectuase maniobras en la atmósfera, así como repetidos ejercicios de despegues y aterrizajes.

PRUEBAS FINALES

Durante los dos años y medio siguientes, se efectuaron otras 23 pruebas y se adiestraron para un eventual lanzamiento tres parejas de cosmonautas. En diciembre de 1987, otro piloto del Buran, Anatoli Levchenko, participó en una misión de siete días a bordo de la estación Mir. Al mismo tiempo, algunos modelos voladores a escala reducida, conocidos como BOR-5, fueron lanzados en numerosas misiones suborbitales para comprobar los sistemas de control de vuelo.

A pesar de este intenso programa de entrenamiento, los progresos continuaban siendo escasos. Uno de los motivos era que



EL VUELO DEL «TEMPESTAD DE NIEVE» RUSO

El vuelo inaugural del Buran duró tres horas y media desde el despegue hasta el aterrizaje. El transbordador estaba acoplado al cohete lanzador Energía y fue lanzado desde el cosmódromo de Baikonur. Durante su ascensión hacia el espacio, primero se soltaron los cohetes auxiliares y luego se separó el cuerpo central del módulo de lanzamiento, dejando el transbordador en órbita alrededor de la Tierra.





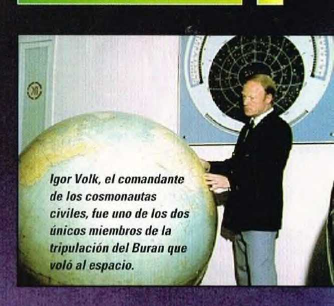


200 - 1.000 km
El transbordador continúa su vuelo orbital alrededor de la Tierra



200 km
El Buran invierte su posición de vuelo de anterior a posterior para preparar su reentrada en la atmósfera terrestre





Igor Volk, el comandante de los cosmonautas civiles, fue uno de los dos únicos miembros de la tripulación del Buran que voló al espacio.

el trabajo estaba dividido entre una infinidad de diferentes fábricas y estudios de proyecto. Otra de las razones era que habían surgido dificultades en la definición del proyecto, ya que, entre 1979 y 1987, se efectuaron unas 32.000 modificaciones en la estructura del fuselaje. A pesar de todo, a mediados de 1988, el primer Buran quedó finalmente listo, con ocho años de retraso respecto al calendario previsto. El lanzamiento inaugural debería efectuarse sin tripulación y todo el vuelo se desarrollaría de manera automática.

LISTOS PARA EL LANZAMIENTO

El primer intento de despegue, el 29 de octubre de 1988, fue cancelado 51 segundos antes del lanzamiento. Las fuerzas militares espaciales soviéticas reintentaron la empresa 16 días después. El transbordador espacial, acoplado al cohete lanzador Energía en el interior del edificio de ensamblaje de Baikonur, fue transportado a la rampa de lanzamiento construida con este fin. En ella, la gigantesca pareja, con un peso total de 2.400 toneladas, se izó hasta quedar vertical y preparada para el lanzamiento.

Las condiciones climáticas no eran precisamente ideales: cuando el cohete se preparó para suministrarle 2.000 toneladas de oxígeno e hidrógeno líquidos y queroseno, soplaba un fuerte viento, caía una intensa lluvia y la temperatura exterior había descendido hasta casi 0 °C. Uno de los mayores peligros era la formación de hielo, que habría podido desprenderse de improviso y dañar las losetas de revestimiento térmico del transbordador.

UN RESPIRO EN LA TORMENTA

Afortunadamente, tres horas antes del despegue, las condiciones meteorológicas mejoraron y se concedió el permiso para proseguir los preparativos del lanzamiento. A las 06.00, hora de Moscú, del 15 de noviembre de 1988, los motores principales del cohete Energía se encendieron. Toda la estructura quedó rodeada de una nube gris-anaranjada de vapor y llamas. Cuando los motores alcanzaron la máxima potencia, el cohete se elevó lentamente hacia el cielo negro con el Buran enganchado a un lado. Dos minutos y cuarenta segundos después del despegue, los cuatro cohetes auxiliares se desprendieron por pares y se alejaron, dejando que la fase principal y el Buran continuasen solos la ascensión. El transbordador quedó en una órbita elíptica a una altura que variaba entre 200 y 1.000 km por encima de la Tierra y estaba inclinada 51,6° respecto al ecuador. Se realizaron dos órbitas completas antes de que se hiciese girar el transbordador de manera que su cola quedara orientada hacia adelante y los motores principales se encendiesen para disminuir su velocidad. Luego, protegido por su revestimiento de 38.000 losetas de cerámica contra el elevadísimo calor generado por su reentrada en la atmósfera, el vehículo planeó hacia la base, cerca del cosmódromo de Baikonur.

UN ÚNICO LANZAMIENTO

El entusiasmo que se produjo cuando el Buran tocó tierra fue de corta duración. Los cosmonautas que se estaban entrenando se afanaron en el intento de obtener el permiso para otro vuelo, pero todo fue inútil. El transbordador ruso era de difícil mantenimiento y de utilización muy cara. El 30 de junio de 1993, el gobierno ruso canceló el programa. Se habían despilfarrado 20.000 millones de rublos.

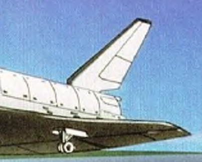


160 km
Los motores de maniobra del Buran se encienden para la frenada de reentrada del transbordador, que empieza a salir de su órbita



100 km
El transbordador entra en la atmósfera terrestre con un ángulo de 39°

40 km
Empieza el frenado producido por la resistencia del aire sobre el transbordador mientras éste desciende hacia el suelo



ATERRIZAJE
El Buran aterriza a una velocidad de 340 km/h sobre la pista de Baikonur. Tres paracaídas de frenado reducen su velocidad



CAPTURAR UN COMETA

La misión Rosetta, prevista para el año 2003, intentará hacer realidad un proyecto muy ambicioso: colocar un robot sobre el cometa Wirtanen.



Durante miles de años, los hombres han sentido miedo cada vez que unos globos luminosos con una larga cola –los cometas– pasaban por el cielo estrellado. Calamidades, desgracias e incluso profecías nefastas se han asociado siempre a estas maravillas del cosmos. En realidad, hoy sabemos que los cometas no son otra cosa que objetos compuestos de gases, polvo y hielo, de pocos kilómetros de diámetro y que, en su mayor parte, giran alrededor del Sol como los planetas. Pero esto no significa que el conocimiento de su naturaleza los haga menos fascinantes. Los científicos han descubierto que los cometas contienen las semillas del material interestelar que ha dado origen al sistema solar. Si se pudiese recoger una parte de estos objetos, se podría saber qué había en esta zona de nuestra Galaxia hace 4.500 millones de años, cuando un acontecimiento especial provocó la formación del Sol y de todos sus planetas. La Agencia Espacial Europea se ha propuesto, en colaboración con la NASA, el CNES y un consorcio dirigido por Alemania, ir a capturar los secretos que todavía guardan los cometas, enviando una sonda alrededor de uno de ellos, el Wirtanen, y depositando en su superficie dos robots pequeños pero sofisticados. El proyecto se ha denominado International Rosetta Mission, misión que partirá hacia su destino el 20 de enero del año 2003.

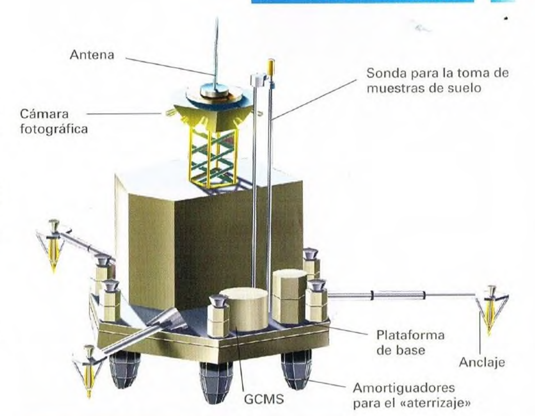
LAS FINALIDADES DE LA MISIÓN

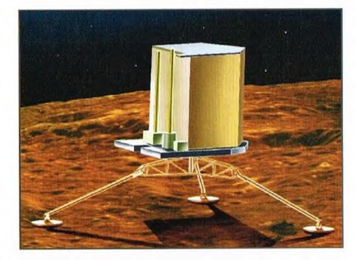
La primera tarea de la misión Rosetta será trazar un mapa de la superficie del cometa Wirtanen. Para ello,



A la izquierda, una espectacular fotografía del cometa Bennet, que pasó por su perihelio el 20 de marzo de 1970. Arriba, una imagen del cometa Halley, recientemente estudiado por la sonda Giotto.

una máquina fotográfica podrá registrar objetos del tamaño de un metro. Luego, un espectrómetro localizará la presencia de hielo y de compuestos orgánicos eventualmente presentes en la superficie, mientras que el equipo de investigadores se dedicará a la búsqueda de lugares particularmente activos, en los que se expulsen gases y polvo con mayor intensidad que en el resto del cometa, como los observados por la sonda Giotto en el cometa Halley. Por lo menos, una de estas zonas podría ser elegida para hacer descender en ella uno de los robots que llevará la sonda. Cuando estos robots desciendan desde una altura aproximada de un kilómetro, la baja gravedad del cometa hará que el impacto sobre él sea semejante al de una gota de agua soltada en la Tierra desde unos pocos centímetros. La primera de las dos sondas robot que descenderá será la llamada Champollion y no pesará más de 45 kg. Nacida de la colaboración entre Estados Unidos y Francia, la sonda robot Champollion tendrá la misión de perforar la superficie del cometa haciendo penetrar su pequeño taladro unos 20 cm en busca de material virgen, es decir, no expuesto a las radiaciones solares. Para realizar esta compleja misión, la sonda robot tendrá que anclarse en la superficie del cometa mediante tres pequeños arpones. En efecto, debido a la débil atracción gravitatoria del cometa, en el momento en que el taladro empezase a penetrar en el suelo, la sonda podría recibir un empuje de reacción de suficiente energía para enviarla de nuevo al espacio y perderse. Un sistema automático transferirá las muestras recogidas a un analizador del interior del robot.



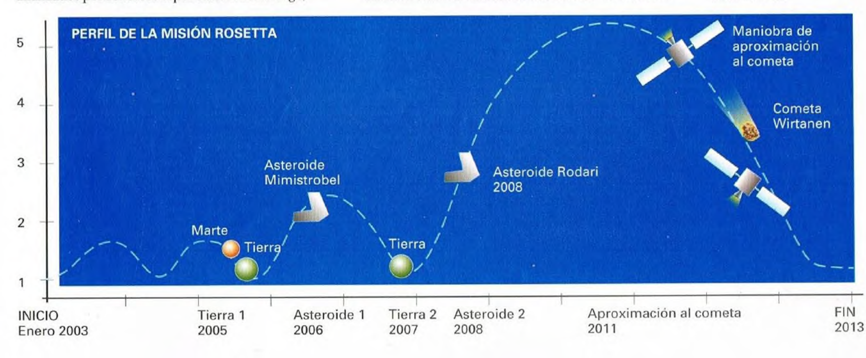


Arriba, un dibujo en el que se ha representado la sonda Champollion. En la parte superior se puede observar el taladro para la toma de muestras de suelo. A la izquierda, reconstrucción de la segunda sonda, la Roland, que se separará de la sonda madre y efectuará análisis de la composición físico-química del cometa Wirtanen.

LOS SECRETOS DE LOS COMETAS

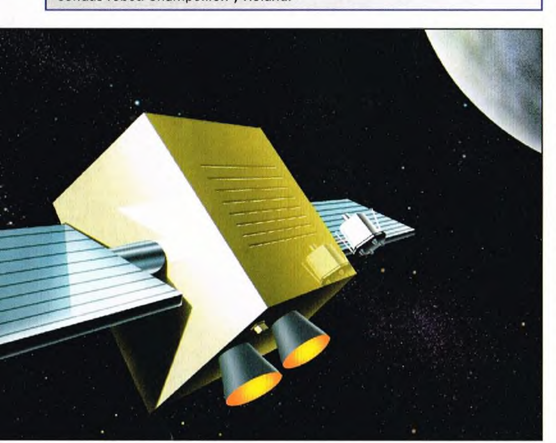
Otro *lander*–otra pequeña sonda destinada a descender sobre el cometa– llamado Roland y construido por un consorcio de sociedades alemanas, se desprenderá de la sonda madre para descender sobre el cometa y explorar su naturaleza física y química. Entretanto, la sonda madre continuará orbitando alrededor del cometa y detectando las pequeñas emanaciones de gases que éste va produciendo al acercarse al Sol. Los granos de polvo que chocarán con Rosetta serán registrados y analizados por sensores especiales. Sin embargo, se ha previsto que si existiese una cantidad de polvo excesiva, Rosetta será conducida fuera de la cola del cometa para evitarle daños irreparables. La sonda tendrá la importantísima misión de analizar el peso de los átomos, de las moléculas y de los iones de la atmósfera cometaria. Los resultados deberían desvelar cómo se ha mantenido el hielo en el núcleo

Abajo, en el diagrama, perfil de la misión Rosetta. En el eje de los tiempos, las etapas del proyecto, que se iniciará en enero de 2003 y terminará diez años más tarde, en 2013.



LA AVENTURA DE ROSETTA

La misión se eligió como tercera «piedra angular» de la Agencia Espacial Europea, en el marco de un amplio plan científico denominado Horizon 2000. Planificada para partir el 20 de enero del año 2003 lanzada por un cohete Ariane 5, la sonda pasará una vez cerca de Marte en 2005 y dos veces cerca de la Tierra en 2005 y 2007 para recibir de ellos un impulso gravitacional que acelerará su vuelo hacia el cometa Wirtanen. Antes de alcanzar su objetivo principal, Rosetta también pasará cerca de dos asteroides a los que podrá estudiar desde una distancia de 500 y 1.000 km de su superficie, respectivamente. Durante los largos meses en que la sonda deberá simplemente viajar por el vacío cósmico, quedará hibernada, es decir, se mantendrá en un estado de mínima actividad, para ser despertada cuando se halle cerca de las citas previstas. La experiencia que los técnicos hicieron hibernando la sonda Giotto, sobre todo durante el período transcurrido en el espacio entre su encuentro con el cometa Halley, en 1986, y el cometa Grigg-Skjellerup, en 1992, demostró que una sonda en este estado se desgasta mucho menos que manteniéndola continuamente activada. Además, también se obtiene un ahorro en los costes de control de la sonda desde la Tierra. El 28 de agosto de 2011, Rosetta llegará a la distancia preestablecida para ponerse en órbita alrededor del cometa. Desde este momento, y hasta finales de octubre de 2013, la sonda estudiará de cerca el Wirtanen y le enviará también dos sondas robot: Champollion y Roland.



del cometa y si en su interior quedaron o no atrapados gases del espacio interestelar. La presencia de algunos minerales permitirá averiguar si los cometas tienen o no los principales componentes químicos que han formado la Tierra y los demás planetas rocosos. Además, la investigación efectuada sobre los compuestos de carbono presentes en los granos de polvo, que suscitó un gran interés cuando las sondas Vega y Giotto estudiaron el Halley, debería ayudar a los científicos a saber si la vida es algo repetible fuera de la Tierra o si es un acontecimiento rarísimo que ha elegido nuestro planeta para ponerse de manifiesto.

¿POR QUÉ LOS NOMBRES ROSETTA Y CHAMPOLLION?

Una de las principales finalidades de las ciencias espaciales es comprender cómo se formó y evolucionó el sistema solar. Para lograr este objetivo sería muy útil tener en las manos el material primordial a partir del cual nacieron el Sol, los planetas, los satélites naturales, los asteroides, los cometas, etc. Como en los planetas se ha producido una profunda modificación del material originario desde el punto de vista físico-químico, no es posible obtener informaciones importantes sobre un pasado tan lejano. En cambio, es muy probable que los cometas y los asteroides estén todavía constituidos por el material primario y, por tanto, la obtención y el análisis de muestras de este material permitiría descifrar qué sucedió hace entre 4.000 y 5.000 millones de años.

La piedra de Rosetta se encontró en 1799 cerca de la ciudad egipcia homónima y contenía una inscripción en tres escrituras: egipcio jeroglífico, egipcio demótico y griego. Este hallazgo permitió que la egiptología diese un gran paso adelante, porque fue posible descifrar y entender los jeroglíficos de la antigua civilización egipcia, hasta entonces misteriosos. Jean-François Champollion, egiptólogo francés y uno de los padres de la egiptología moderna, fue quien hizo este importante descubrimiento. Por esto se eligió el nombre de Rosetta para la misión y el de Champollion para una de las sondas. Es posible que en el cometa que se visitará se encuentre la manera de descifrar algunos de los más importantes misterios que rodean el nacimiento del sistema solar.

En la imagen superior puede verse la sonda Rosetta con la sonda robot Champollion. De las detecciones efectuadas por esta última se podrían obtener datos útiles para desvelar algunas incógnitas del origen del sistema solar. A la derecha, se ha representado la sonda Champollion que, después de haber sido puesta en órbita alrededor del Wirtanen, efectuará la maniobra del «aterrizaje».





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

PLUTÓN

ESTRELLAS Y GALAXIAS

CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRELLAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

NOMBRES DE ESTRELLAS

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LAS CUATRO FUERZAS DEL UNIVERSO

EL USO DEL ESPACIO

LA VIDA DEL HOMBRE EN EL ESPACIO

Con el próximo fascículo estarán a su disposición en todos los puntos de venta las tapas intercambiables.

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Estas tapas sirven para encuadernar dieciséis fascículos y van acompañadas de un juego completo de transferibles. De esta manera, usted mismo puede ordenar los volúmenes según van apareciendo. Basta colocar en el lomo el número que corresponda.

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

16



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

PLUTÓN

Plutón es el más lejano de los planetas del sistema solar. Dadas sus características, es posible que fuera capturado mientras transitaba por las cercanías del Sol. Su descubrimiento, realizado en 1930, representó una importante confirmación de las leyes astrofísicas.



Hace sólo 10 años, habría tenido muy poco sentido pretender describir cualquier característica de Plutón. El planeta estaba demasiado alejado y era demasiado pequeño para poder observarlo con la tecnología de los telescopios terrestres; además, ni las sondas Voyager ni las Pioneer lograron llegar a él durante la exploración de los planetas externos del sistema solar. Cualquier afirmación sobre el planeta era puramente hipotética. Pero actualmente nuevas técnicas de observación, y sobre todo el ojo de un instrumento, el Hubble Space Telescope (HST), han permitido recoger suficientes datos para establecer un cuadro lo bastante preciso del sistema Plutón-Caronte (su satélite natural). Hoy en día, por tanto, se puede tratar a Plutón del mismo modo que los demás objetos del sistema solar. Más aún: las informaciones han resultado tan importantes que se ha decidido enviar a Plutón una sonda automática que pueda mostrarnos de cerca este extraño doble objeto celeste.

UN POCO DE HISTORIA

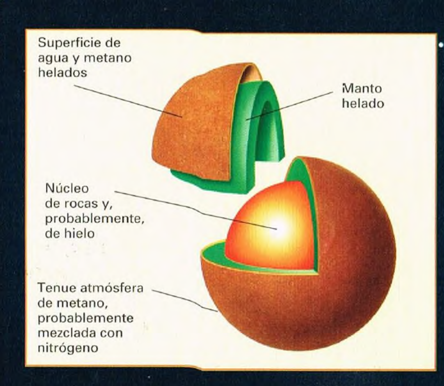
El descubrimiento de Plutón tiene aspectos realmente fascinantes. Hacia 1880, en efecto, se empezó la búsqueda de un planeta, situado a unas 50-100 u.a. del



Arriba, Plutón junto a Caronte, su satélite natural, tal como los ven los telescopios terrestres más potentes. La magnitud de este planeta es tan elevada que para poder observarlo es necesario un telescopio de al menos 25 cm de apertura. En la imagen a toda página, representación pictórica de la superficie de Plutón y de Caronte.

Sol, responsable de ciertas perturbaciones presentes en la órbita de Urano que no podían imputarse únicamente a Neptuno. Se desencadenó, pues, la caza del planeta X. Percival Lowell, conocido por sus estudios sobre Marte, se dedicó en cuerpo y alma a la búsqueda del planeta; pese a 14 años de observación, murió con «la mayor decepción de su vida», según contó su hermano, porque, convencido de la existencia del objeto, no logró descubrirlo. Catorce años después de su muerte, el 13 de marzo de 1930, un joven ayudante del observatorio de Flagstaff, Clyde Tombaugh, logró finalmente dar al mundo la noticia del descubrimiento del nuevo planeta, situado a sólo seis grados de la posición que Lowell conjeturó. Al objeto se le dio el nombre de Plutón, el dios de los infiernos, pero el nombre se eligió también para honrar con sus dos primeras letras –PL– a Percival Lowell. Analizando con calma la documentación de que disponían los astrónomos se llegó a descubrir que Plutón había sido fotografiado en el Lowell Observatory en dos ocasiones, todavía en vida de Lowell, y en otras catorce por astrónomos de otros observatorios. Ello permitió definir con suficiente precisión su órbita.

Plutón se ha vuelto a poner de actualidad debido a las fotografías del telescopio espacial Hubble, aunque para interpretar dichas instantáneas es necesario recordar cuanto se sabe acerca de Plutón y Caronte. Estos objetos distan del Sol unas 39,4 u.a., que equivalen a unos 5.900 millones de km. A causa de esta enorme distancia, el tiempo que emplean en completar una órbita alrededor del Sol es muy grande: su año corresponde a unos 248 años terrestres. Por ello, en el





A Plutón se le considera generalmente el último de los planetas del sistema solar pero algunos lo ven como un objeto del cinturón de Kuiper que ha sido capturado por la gravedad del sistema solar.

EL NACIMIENTO DE CARONTE

Es posible que Caronte sea producto del impacto de Plutón con un gigantesco asteroide que vagaba por el espacio. El asteroide tuvo que tener un diámetro de al menos 1.000 km para lograr arrancar de Plutón la masa requerida para formar Caronte. El tiempo necesario para que el material desprendido diese origen a un único planeta tuvo que ser de al menos 10 millones de años. Esta hipótesis del nacimiento de Caronte explicaría algunas características físicas del sistema Plutón-Caronte que, de lo contrario, serían incomprensibles.

momento en que los dos objetos pasaban por última vez exactamente donde se encuentran hoy se firmaba en nuestro planeta la Paz de Aquisgrán (1748). Desde los días del descubrimiento de Plutón, pero sobre todo desde el de su satélite Caronte (en 1978), la órbita, la densidad y el radio de los dos objetos se han ido determinando con una precisión cada vez mayor, aunque no se ha llegado todavía al cien por cien.

EL INTERIOR DE PLUTÓN Y CARONTE

Dando por buenos los valores de densidad, radio y período de rotación de Plutón y Caronte obtenidos hasta el momento y teniendo en cuenta las abundancias cosmológicas de agua y silicatos presentes a aquellas distancias del Sol, se ha intentado definir una estructura interna del planeta. Se han propuesto dos estructuras, ninguna de las cuales, hasta el momento, ha logrado imponerse. Según el primer modelo, debajo de una superficie recubierta de elementos diversos, principalmente nitrógeno, metano y óxido de carbono, habría un nivel de 230 km de espesor formado por hielo, con una subdivisión a unos 130 km donde se prevé, debido a la presión del material que hay encima, el paso de una estructura molecular del hielo a otra. Debajo de todo, debería de haber un núcleo de rocas silicatadas parcialmente hidratadas. El segundo modelo prevé también una capa de hielo, de unos 250 km, pero encima del núcleo interno silicatado habría una capa de unos 100 km de espesor de material orgánico. La presencia de hielo puede explicarse por la separación de éste de las rocas primordiales que formaban el planeta, a raíz del impacto con uno o varios asteroides que calentaron su interior. Pero suponiendo que Plutón no hubiera chocado con un cuerpo externo, el ascenso de agua hacia las partes superiores del planeta puede explicarse gracias al calor liberado por los elementos radiactivos de las rocas.

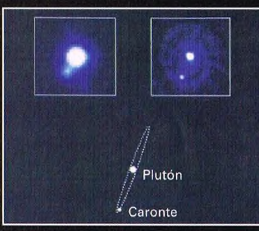
Volviendo a la superficie del planeta, hay que mencionar que hace algunos años se descubrieron, durante la rotación, variaciones de brillo de la superficie que luego fueron determinadas con mayor precisión por el telescopio espacial Hubble. El hecho explicaba la presencia de áreas más claras y de otras más oscuras. Se cree que el material más brillante está básicamente formado de nitrógeno sólido que rodea moléculas de otras clases. Investigaciones espectroscópicas realizadas desde la Tierra indican que el uno por ciento de la masa está constituido por inclusiones de metano. A veces, sin embargo, el metano parece

DATOS

PRINCIPALES PARÁMETROS DE PLUTÓN Y CARONTE

Parámetro	Plutón	Caronte
Período de rotación	6,3872 días	6,3872 días
Radio	1.164-1.187 km	590-630 km
Albedo	magnitud 13,6	magnitud 15,5
Atmósfera	Confirmada	Dudosa





Abajo, las órbitas de Neptuno y Plutón se cortan, de tal modo que a veces el primero resulta ser el planeta más lejano de todo el sistema solar.

Los eclipses recíprocos de Plutón y Caronte se verifican a intervalos de pocos años. En cambio, el tiempo que emplean ambos astros en dar una vuelta al Sol es de 248 años terrestres.

formar manchas homogéneas muy distintas de las anteriores, que se encontrarían a una temperatura más alta respecto a las zonas circundantes. El óxido de carbono, con una cantidad muy inferior al uno por ciento, podría ser otro constituyente de la superficie. Pruebas de laboratorio, durante las cuales se han tratado de reconstruir las condiciones superficiales de Plutón, inducen a creer que el nitrógeno se puede presentar en forma de cristales de dimensiones métricas. Las variaciones de temperatura durante las largas estaciones del planeta determinarían cambios de fase del nitrógeno. En otras palabras, durante el año plutoniano alternarían varias estructuras cristalinas del nitrógeno de mayor y menor densidad, lo que contribuiría a explicar las variaciones

LOS ÚLTIMOS DATOS

Se han utilizado cuatro técnicas distintas para medir el radio y el período de rotación de Plutón y Caronte: imágenes tomadas desde la Tierra (las menos determinantes), ocultaciones estelares (paso de los dos objetos por delante de una estrella), imágenes tomadas por el telescopio espacial Hubble y sucesos que afecten a ambos cuerpos simultáneamente (eclipses recíprocos). El primero ha sido el método que peores resultados ha dado debido a la dificultad de observar directamente detalles de la superficie. La segunda técnica, de gran importancia, se ha utilizado poquísimo por falta de ocasiones. Entre otras cosas, la existencia de una atmósfera alrededor de Plutón, de la que se sabe todavía muy poco, ha impedido calcular con precisión el valor de su radio, que es de unos 1.175 km. Por el mismo motivo, también adolecen de esta limitación las imágenes tomadas por el Hubble. Muy importante para determinar los parámetros de Plutón y Caronte han sido una serie de eclipses recíprocos que tuvieron lugar entre 1984 y 1990. Sin embargo, para resolver con precisión muchas dudas todavía existentes habrá que esperar a que se instale en 1999 la Advanced Camera en el telescopio Hubble o que una sonda espacial sobrevuele los dos objetos.

A partir de los datos obtenidos, sin embargo, se puede calcular un valor muy importante para conocer las características geofísicas de los dos cuerpos: la densidad, que, como se sabe, es igual a la masa dividida por el volumen. Se han realizado dos intentos de medir la masa de ambos cuerpos: en 1991 mediante el Hubble y en 1992 con instrumentos desde la Tierra. Los valores obtenidos resultaron distintos, por lo que los experimentos se repitieron en 1993 y 1995, pero aún es demasiado pronto para decir cuáles son los resultados más correctos. De todas maneras, se acepta actualmente que la densidad de los dos objetos tomados en conjunto es de unos 2,05 g/cm^3 (la Tierra tiene una densidad de 5,5 g/cm^3). La densidad de Plutón, en realidad, debería ser ligeramente superior a este valor, mientras que la de Caronte debería ser un poco inferior.



Arriba, Plutón es el único objeto del sistema solar que no ha sido sobrevolado por una sonda espacial. Una misión hacia este planeta debería de partir en los primeros años del próximo siglo.

de luminosidad que se observan en la superficie. Hay que mencionar también que el nitrógeno, el metano y el óxido de carbono no deben de ser los únicos elementos que forman la superficie. No obstante, pese a los esfuerzos realizados hasta hoy, no se ha conseguido observar otras moléculas. Basándose en las investigaciones realizadas por el satélite IRAS, se supone que algunas regiones de Plutón no están recubiertas principalmente de nitrógeno, pues muestran un menor albedo (capacidad reflectora de la superficie), un color rojizo y una mayor temperatura. No se conoce la composición de estas manchas más oscuras que se encuentran cerca del ecuador y en algunos puntos de los polos, pero se piensa que podrían incluir material orgánico sólido.

La superficie de Caronte es menos reflectora que la de Plutón. Observaciones espectroscópicas muestran que esta superficie debe de estar en gran parte recubierta de hielo, además de otros compuestos no identificados, que daría origen a manchas grisáceas en la superficie del satélite.

Es extremadamente importante determinar con precisión la composición de otros materiales de Plutón y Caronte para comprender el origen de estos y otros pequeños cuerpos presentes en los confines del sistema solar o fuera de él. Conocer mejor estos dos objetos significa, por ejemplo, descubrir si el material orgánico que los forma estaba ya presente en la nube interestelar que dio origen al sistema solar o se fue formando en la superficie como consecuencia del bombardeo cósmico y de procesos fotoquímicos.

Una de las primeras imágenes de Plutón y Caronte tomadas por el telescopio espacial Hubble. La foto se obtuvo el 21 de febrero de 1994.

LA ATMÓSFERA DE PLUTÓN

Las informaciones sobre las características de la atmósfera de Plutón se han obtenido por varios caminos. Conviene recordar ante todo que algunos importantes parámetros se determinaron directamente en 1988 durante la ocultación estelar de una estrella de magnitud 12. En aquella ocasión se realizaron numerosas observaciones desde la Tierra y desde el Kuiper Airborne Observatory, un avión de la NASA equipado para la observación astronómica. Otras características se dedujeron del estudio de la superficie del planeta, con el que la atmósfera, sin lugar a dudas, interactúa. También se consiguieron informaciones indirectas comparando Plutón con Tritón, uno de los satélites de Neptuno, que en muchos aspectos es parecido a Plutón y que fue observado con notable resolución por una sonda Voyager. Por último, contribuyeron a este conocimiento modelos por



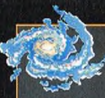
Los tamaños de Plutón y Caronte, comparados con el de la Tierra. El diámetro de Caronte es cerca de la mitad del de Plutón.

ordenador, los cuales, para determinados parámetros y condiciones, pueden dar una idea de las características dinámicas de la propia atmósfera. En correspondencia con las notables variaciones de albedo de la superficie se supone que deben de haber importantes variaciones horizontales de temperatura capaces de influir, obviamente, sobre la atmósfera. Según algunos modelos, podría haber una variación lateral con un factor de 2, un hecho único en el sistema solar (en la Tierra, una variación del 10% se considera ya notable). Según los datos de las ocultaciones, parece que las variaciones verticales de temperatura pueden tener un gradiente del orden de 20-30 kelvins por kilómetro. El conjunto de las informaciones obtenidas con los sistemas descritos llevaría a una subdivisión vertical de la atmósfera en dos partes: la más externa, por encima de 1.215 km, y la más interna, debajo de la primera.

A 1.215 km la presión atmosférica podría ser del orden de 2,33 microbar; el límite entre los dos niveles estaría marcado por una capa de aerosol. La presión en la superficie debería de variar entre 3 y 160 microbar, con una temperatura media que podría estar comprendida entre –228 y –238 °C.

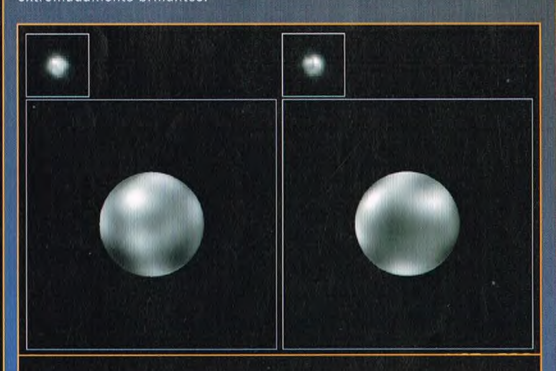
Estos valores son similares a los estimados para la presión atmosférica en el suelo de Tritón. Aunque muy pequeña, la presión debería de ser lo bastante grande para dar origen a algunos procesos físicos, sobre todo como consecuencia de las variaciones laterales de temperatura.

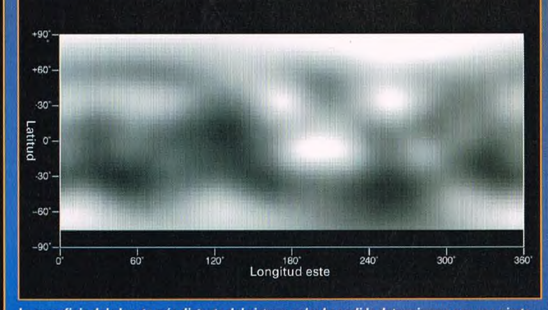
El principal elemento de la atmósfera debería de ser el N_2, pues ésta evolucionó a partir del material constitutivo de la superficie del planeta. Pero, dado que, a causa de las temperaturas existentes en el suelo de Plutón, el nitrógeno es más volátil que el óxido de carbono y el metano, este último elemento debería ser el componente principal. En la atmósfera, además, debería de haber moléculas, átomos y iones derivados de procesos fotoquímicos.



PLUTÓN VISTO POR EL TELESCOPIO ESPACIAL HUBBLE

Las imágenes de esta página son las primeras obtenidas por la Faint Object Camera del telescopio espacial Hubble. Con ellas, podemos hacernos una idea de aproximadamente el 85% de la superficie del planeta. Se pueden observar las distintas regiones claras y oscuras, que hacen de Plutón un objeto de contrastes a gran escala, único en el sistema solar con excepción de la Tierra. Las imágenes permiten definir una docena de «provincias» con diferente albedo. Entre ellas figuran una región polar, una a latitud media y una serie de manchas oscuras. Algunos de los fuertes contrastes que atraviesan la superficie de Plutón pueden interpretarse como estructuras topográficas de tipo cráter de impacto. No obstante, gran parte de las características de la superficie de Plutón se deben muy probablemente a complejas distribuciones de áreas heladas capaces de emigrar a través de la superficie durante los ciclos estacionales. Durante la corta estación cálida, mientras Plutón se acerca al Sol, parte de las áreas heladas se subliman (se transforman directamente en gas), haciendo que la atmósfera sea más gruesa. Más tarde, cuando el planeta se aleja, parte de la atmósfera se condensa y vuelve a caer al planeta en forma de «nieve», dando lugar a algunas áreas extremadamente brillantes.





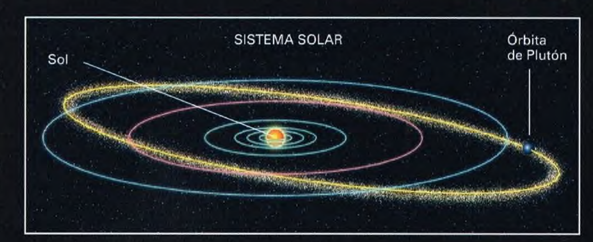
La superficie del planeta más distante del sistema solar ha podido determinarse con una cierta precisión mediante las imágenes tomadas por el Hubble. La foto, tomada con luz azul, muestra a Plutón como un objeto extremadamente complejo, con fuertes contrastes de luminosidad.

Debido a la presencia de metano y de nitrógeno molecular, estos elementos podrían ser H, N, HCN, C_2H_4 y otros hidrocarburos. El hidrógeno y el hidrógeno molecular que pueden formarse, al ser extremadamente ligeros, tienden a dispersarse por el espacio. Por tanto, o bien la cantidad de metano presente en el momento de la formación del planeta era tal que permitía una continua pérdida sin agotamiento de la molécula, o bien el metano fue llevado a la superficie desde el interior del planeta. Ello significaría que en aquel lejanísimo cuerpo del sistema solar podrían haber procesos geológicos dotados de una cierta vitalidad.

EL ORIGEN DE PLUTÓN Y CARONTE

Las características físicas de estos dos objetos y sus parámetros orbitales son únicos en el sistema solar. Por ello, averiguar el origen del sistema Plutón-Caronte resulta de extrema importancia para comprender algunos misterios del nacimiento del propio sistema solar. Recordemos algunos de los parámetros especiales:

- la elevada inclinación de la órbita sobre el plano de la eclíptica, cuyo valor es 17,2°;
- el pequeño tamaño respecto a los planetas exteriores del sistema solar;
- el acoplamiento espín-órbita, es decir, el hecho de que el período de revolución de Caronte en torno a Plutón sea igual al período de rotación de Plutón. En otras palabras, Caronte se encuentra siempre sobre el mismo punto de la superficie de Plutón; es un satélite natural que nunca sale y nunca se pone;
- las características superficiales de los dos cuerpos y tal vez las propiedades de sus núcleos.



Arriba, la órbita de Plutón está fuertemente inclinada respecto a la de todos los demás planetas del sistema solar. Esta característica, junto con otras, hace suponer el origen extrasolar del objeto.
En la imagen de la derecha se observa a Plutón y Caronte muy separados el uno del otro.

Todo esto permite pensar que Plutón y Caronte no nacieron por un proceso de acreción simultánea o de fisión, como se ha dicho alguna vez. El único escenario capaz de explicar la mayor parte de los parámetros de este sistema binario es el que supone una colisión entre Plutón y algunos asteroides gigantes, tal vez de 1.000 km de diámetro o más. Éstos astillaron el planeta aportándole una gran cantidad de materiales; al cabo de unos 10 millones de años, dichos materiales se agregaron alrededor de Plutón formando Caronte.

PLUTO EXPRESS MISSION

Para observar de cerca el sistema Plutón-Caronte está en estudio una misión científica, llamada Pluto Express Mission, que podría llevar a cabo Estados Unidos con la colaboración de Rusia. Su cometido sería estudiar los dos objetos con una sonda de peso muy limitado (utilizando tecnologías muy avanzadas) capaz de:
I. determinar las características geológicas y geomorfológicas de los dos cuerpos;
II. realizar un mapa de su composición química;
III. determinar la composición de la atmósfera, su estructura térmica y las características del aerosol;
IV. estudiar las características de los confines del sistema solar.
La sonda podría ser lanzada por un cohete ruso o estadounidense y podría llegar a la meta en unos 12 años viajando a unos 18 km/s. Están previstos tres encuentros con Venus y uno con Júpiter para obtener impulso gravitacional y aumentar la velocidad. Una microsonda de construcción rusa se desprenderá de la nave madre y alcanzará la superficie de Plutón en unos 30 días. Mientras tanto, se recogerá el mayor número posible de informaciones sobre la atmósfera del planeta. La sonda principal podría girar a una altura de 15.000 km fotografiando el planeta con una resolución de 5-10 kilómetros.



Representación de la sonda de la Pluto Express Mission mientras se aproxima al sistema Plutón-Caronte.

LA ASTRONOMÍA EN CASA

LA OBSERVACIÓN DE PLUTÓN

Plutón no fue descubierto hasta 1930, 149 años después de Urano. Su observación requirió una paciente búsqueda realizada sobre la base de las perturbaciones de este último planeta. Debido a su pequeñísimo tamaño y a su gran distancia al Sol, nunca fue observado por los hombres en la Antigüedad.

CON UN TELESCOPIO

Sólo con un telescopio de 25 cm de apertura se puede observar Plutón. Gracias a las ocultaciones recíprocas entre Plutón y Caronte se han podido poner de manifiesto áreas de distinta luminosidad. Se han observado ulteriores diferenciaciones por medio de telescopios de infrarrojos, que han detectado bandas a distintas temperaturas; pero el verdadero salto cualitativo se ha producido con la utilización del telescopio espacial Hubble.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRELLAS

Hay estrellas luminosas y estrellas tenues, estrellas blancas, rojas y azules, estrellas muy calientes y estrellas muy frías. Aprendamos a conocer sus características.



Observando el cielo, aunque sea sin instrumentos, es posible apreciar la propiedad más evidente de las estrellas, su brillo. Hay estrellas muy luminosas y otras más débiles; el número total de estrellas perceptibles a simple vista en condiciones ideales es de unas 6.000. Con unos prismáticos o un telescopio se abren unas perspectivas inmensas, ya que se pueden ver millones de estrellas de la Vía Láctea y de otras galaxias.

TOLOMEO Y EL ALMAGESTO

El primer intento de catalogar las estrellas sobre la base de su luminosidad se debe al extraordinario astrónomo helenístico Hiparco de Nicea, que vivió en el siglo II a.C. Entre sus obras, casi completamente perdidas, figura un *Catálogo estelar* de unas 850 estrellas identificadas por sus coordenadas y su luminosidad. Los datos recogidos por Hiparco, quien fue también el descubridor de la precesión de los equinoccios, fueron retomados y ampliados por Claudio Tolomeo, que vivió en Alejandría en el siglo II d.C. Su escrito fundamental fue el *Almagesto*, una obra en 13 volúmenes en la que recogió y reordenó toda la astronomía matemática antigua exponiéndola de una manera clara y coherente. Esta obra monumental contenía también un catálogo estelar basado en el de Hiparco, elaborado cuatro siglos antes, pero ampliado con un millar aproximado de estrellas. En el catálogo de Tolomeo, que fue aceptado con carácter universal durante casi un milenio, las estrellas se dividían en seis clases: las más brillantes se llamaban de primera magnitud, las que lo eran un poco menos, de segunda, y así sucesivamente hasta llegar a las estrellas apenas perceptibles a simple vista, clasificadas como de magnitud seis. El término «magnitud» sigue utilizándose hoy para indicar la luminosidad de los objetos celestes, no sólo de las estrellas sino también de las nebulosas, las galaxias y los cúmulos.

LAS MAGNITUDES MODERNAS

La aproximación implícita en la división de las estrellas en clases de luminosidad realizada por Hiparco y Tolomeo fue superada a mediados del siglo pasado por el astrónomo inglés Norman Pogson. Éste se dio cuenta de que entre una clase y la siguiente había una razón de luminosidad de aproximadamente dos y medio (por ejemplo, una estrella de tercera magnitud es unas 2,5 veces más luminosa que una de cuarta) y estableció por convención que entre una estrella de primera magnitud y otra de sexta (que difieren en cinco magnitudes) habría una razón de luminosidad de 100 a 1. De acuerdo con esta escala, entre dos clases sucesivas hay una razón de luminosidad de 2,512 a 1, porque este número multiplicado cinco veces por sí mismo da como resultado 100. Así quedó a salvo la antigua escala, aunque dotada de un rigor matemático preciso. Como estrella de referencia se eligió la Polar, a la cual se atribuyó convencionalmente una magnitud de 2,12 para respetar todo lo posible las magnitudes de Tolomeo. Más tarde, cuando se descubrió que esta estrella era variable, se tomaron otras estrellas como puntos de referencia.

Con el paso del tiempo y la mejora de los instrumentos fue posible realizar medidas de luminosidad mucho más precisas, del

El Almagesto *de Tolomeo, publicado en el siglo II d.C., es el catálogo estelar más antiguo que ha llegado hasta nosotros.*

ALMAGESTI

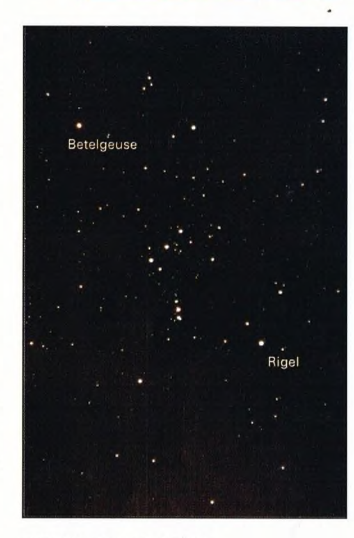


Arriba, retrato de Tolomeo, el célebre astrónomo alejandrino del siglo II d.C., autor del *Almagesto*. Arriba a la derecha, la constelación de Orión, con la supergigante roja Betelgeuse y la gigante azul Rigel.

orden de la décima y la centésima de magnitud. Entre las estrellas brillantes figuran Deneb, de magnitud 1,25, Aldebarán, 0,85, y Vega, 0,04. Las estrellas más brillantes, en esta escala, tienen magnitudes negativas: Sirio, –1,47; Canopus, –0,72; Arturo, –0,04.

MAGNITUDES APARENTE Y ABSOLUTA

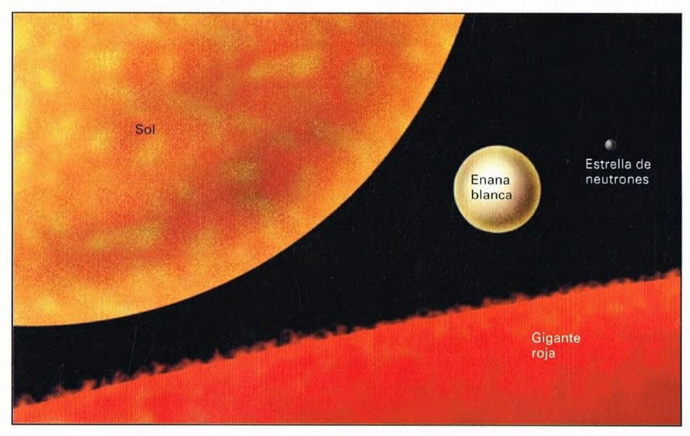
La magnitud medida por los fotómetros de los telescopios nos dice cuánta luz procedente de una estrella llega al observador situado en la Tierra. Obviamente, esta luz debe recorrer la distancia que nos separa de la estrella. Por tanto, cuanto más lejos está una estrella, menos luminosa aparece; por esto se habla en tal caso de magnitud aparente. Si las estrellas fueran todas iguales, la medida de esta magnitud nos daría indicaciones sobre la distancia. Pero esto no es así: hay estrellas muy brillantes y otras muy tenues. Para poder determinar la luminosidad de las estrellas independientemente de su distancia a nosotros se introduce la magnitud absoluta, que corresponde al brillo que tendría una estrella si estuviera situada a una distancia estándar, fijada en 10 parsecs (1 parsec = 3,26 años luz). Dado que la luz se debilita con la distancia, para conocer la magnitud absoluta de una estrella es necesario conocer la distancia que nos separa de ella.



ESTRELLAS DE COLORES

Otra característica fundamental de una estrella es su color. Incluso a simple vista, se advierte que hay algunas estrellas que muestran un color distinto del blanco genérico que exhibe la mayor parte. Hay estrellas azules, amarillas, anaranjadas y rojas.

El color de una estrella es una información fundamental para los astrónomos, pues depende de la temperatura superficial del astro. Las estrellas rojas



A la izquierda, los tamaños de las estrellas, muy diversos, reflejan su estadio de evolución. Nuestro Sol, que es una estrella de la secuencia principal, tiene un diámetro de aproximadamente 1,4 millones de km; una estrella gigante roja puede tener un diámetro, de unos 300 millones de kilómetros. Una enana blanca, en cambio, es unas cien veces más pequeña que el Sol, con un diámetro del orden del de la Tierra (unos 15.000 km). Todavía más pequeñas son las estrellas de neutrones, astros extremadamente densos al término de su evolución, con diámetros de unos 15 kilómetros.

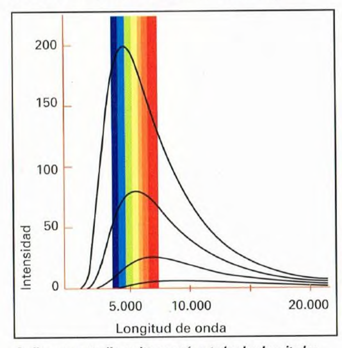
son las más frías, con una temperatura superficial de unos 2.000-3.000 °C; las amarillas, como nuestro Sol, tienen una temperatura intermedia (5.000-6.000 °C); las más calientes son las blancas y azules, que llegan a los 50.000-60.000 °C y más. Naturalmente, los núcleos de las estrellas son mucho más calientes, ya que sus temperaturas alcanzan decenas de millones de grados.

UNAS MISTERIOSAS RAYAS

Si se hace pasar la luz de una estrella a través de un prisma, es decir, de un dispositivo óptico que separa sus colores, se obtiene el llamado espectro. El espectro se presenta generalmente como una banda luminosa continua con los colores del arco iris interrumpida por rayas oscuras. Estas rayas son unas auténticas huellas dactilares de la estrella porque revelan la composición química de las capas superficiales del astro. En efecto, todo elemento químico tiene la propiedad de mostrar rayas en el espectro a longitudes de onda características; comparando las de la estrella con las que se obtienen en el laboratorio se pueden determinar los elementos presentes en el astro. Las rayas principales, como es natural, son las correspondientes al hidrógeno y al helio, que son los principales constituyentes de las estrellas, pero a menudo hay otras muchas rayas de elementos metálicos: calcio, sodio, hierro, etc. En el espectro del Sol, que es extremadamente brillante y por lo tanto fácil de estudiar, se han detectado rayas de prácticamente todos los elementos químicos existentes en la naturaleza.

¿CUÁNTO PESA UNA ESTRELLA?

Al estudiar sistemas de estrellas dobles, compuestos de dos estrellas que orbitan la una alrededor de la otra, es posible aplicar las leyes de la gravitación universal de Newton. Mediante cálculos adecuados se puede



Arriba, una estrella emite energía a todas las longitudes de onda del espectro electromagnético pero no con igual intensidad. Representando gráficamente la energía en función de la longitud de onda se obtiene una curva como la que se muestra aquí. Según dónde se encuentre el pico de la curva, por ejemplo, en el amarillo o en el rojo, la estrella aparecerá amarilla o roja.



A la izquierda, la flecha indica la estrella Albireo, β Cygni, una estrella doble de la constelación del Cisne. Mediante un pequeño anteojo es posible separarla en sus componentes, una amarilla y otra azul, como se ve en la imagen de abajo.



A la derecha, la flecha indica Betelgeuse, el hombro derecho de Orión, un bello ejemplo de supergigante roja. La imagen de abajo, tomada por el telescopio espacial Hubble, es un intento de medir su diámetro, que es de cientos de millones de kilómetros.

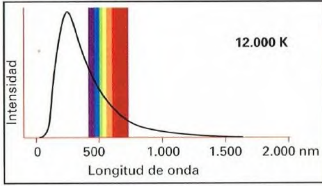






A la izquierda, la flecha indica Sirio, en la constelación del Can Mayor, la estrella más luminosa del cielo. En 1862 se descubrió que se trataba de un sistema doble. La compañera de Sirio, Sirio B, abajo, fue la primera enana blanca que se descubrió.

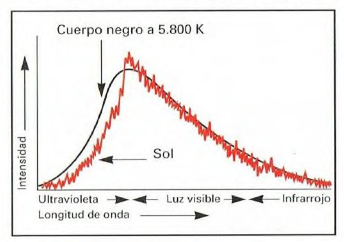




Las estrellas calientes (en el gráfico, un astro a 12.000 K) emiten la mayoría de las radiaciones en el ultravioleta.

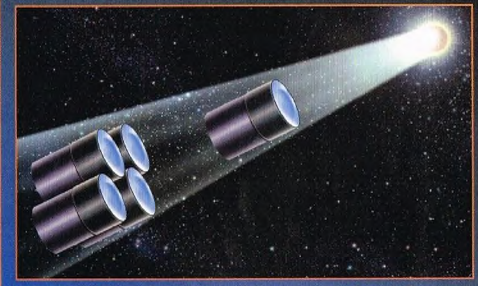
determinar la masa de las estrellas en cuestión y, por tanto, en cierto sentido, es posible «pesarlas». La masa de una estrella como nuestro Sol es del orden de 10^{30} kg, ¡un 1 seguido de treinta ceros! Al contrario que otras magnitudes vistas hasta ahora, las masas de las estrellas no varían mucho. Las estrellas más pequeñas tienen una masa de 0,08 masas solares; estrellas más pequeñas que ésas no serían estrellas, porque en su interior no podrían producirse las reacciones nucleares que las hacen calientes y luminosas.

Abajo, por extraño que pueda parecer, las estrellas son cuerpos negros casi perfectos. Se llama cuerpo negro a un objeto que absorbe y emite radiaciones a todas las longitudes de onda siguiendo una característica curva en forma de campana. En el gráfico, se compara el espectro de emisión del Sol con el de un cuerpo negro a 5.800 K.



MAGNITUD APARENTE, MAGNITUD ABSOLUTA Y DISTANCIA

Existe una relación, matemáticamente muy sencilla y de importancia fundamental para los astrónomos, entre la magnitud aparente *m*, la magnitud absoluta *M* y la distancia *d* de una estrella. Tal relación se escribe de la forma siguiente: $m - M = -5 + 5 \log(d)$.
Dado que la magnitud aparente se puede medir fácilmente con un fotómetro, conociendo la distancia de una estrella es posible determinar la magnitud absoluta, es decir, su luminosidad intrínseca. Recíprocamente, si, a partir de consideraciones teóricas sobre el tipo de estrella, se puede dar un valor a la magnitud absoluta, entonces es posible calcular la distancia. Esta relación, por tanto, es un instrumento formidable en manos de los astrónomos.

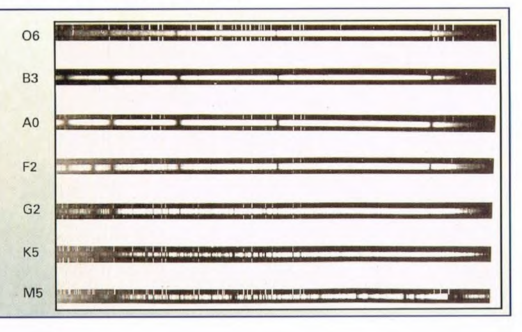


La intensidad luminosa de una fuente cualquiera varía con la distancia. Cuanto más lejos está la fuente, más débil es la luz que nos llega. La ley que determina la intensidad de la radiación luminosa I en función de la distancia d dice que I es inversamente proporcional a d^2. Esto significa que si, por ejemplo, la distancia se dobla, la intensidad se reduce a un cuarto. Así se muestra en el dibujo, donde para recoger la luz de una estrella a la distancia doble hace falta utilizar cuatro telescopios.

La mayor parte de las estrellas tienen una masa del orden de la del Sol o de varias masas solares. Se conocen estrellas con masas de hasta 60-100 masas solares; los cuerpos de mayor masa tenderían a subdividirse en estrellas más pequeñas. ¡Éstos son los verdaderos «pesos pesados» estelares!

TIPOS ESPECTRALES

Las rayas visibles en el espectro de una estrella constituyen una especie de huellas dactilares que permiten ordenar los astros en clases de objetos similares. La clasificación espectral actualmente en uso comprende siete clases principales caracterizadas por las letras del alfabeto O, B, A, F, G, K, M en orden de temperatura decreciente, y otras clases menores. La secuencia de las siete clases principales puede memorizarse a partir de la frase inglesa «¡Oh Be A Fine Girl, Kiss Me!», cuyas iniciales son las letras consideradas. Ejemplos de estrellas de los varios tipos espectrales son las siguientes: O, Mintaka; B, Rigel; A, Sirio; F, Proción; G, Capella; K, Aldebarán; M, Betelgeuse.



NOMBRES DE ESTRELLAS

Adán, que en el Paraíso Terrenal dio nombre a todos los animales y a todas las plantas, representa la necesidad humana innata de dar una definición a cada objeto, aunque sólo sea para comunicarse. También los astros obedecen a esta regla.



El hombre ha sentido siempre la necesidad de dar nombre a cuanto percibe con los sentidos; a este destino no han escapado los objetos celestes.

Los primeros en recibir un nombre fueron los astros más brillantes; luego, con el paso del tiempo, también lo recibieron los astros menores.

La astronomía nació de la necesidad de establecer con precisión el inicio y el fin de las estaciones con objeto de poder programar las actividades productivas, antiguamente centradas en la agricultura: la danza regular de las constelaciones por el cielo suministra un excelente reloj natural; no es de extrañar, por ello, que fueran pueblos básicamente agrícolas, como los egipcios y los caldeos, quienes desarrollaran en profundidad el estudio del cielo.

La identificación de determinadas estrellas o constelaciones al salir o ponerse el Sol es de gran ayuda para determinar con precisión el comienzo y el final de las estaciones. Por tanto, la identificación de algunas estrellas a través de nombres propios permitía disponer de una referencia precisa a la cual recurrir en las comunicaciones oficiales.

LOS NOMBRES PROPIOS DE LAS ESTRELLAS

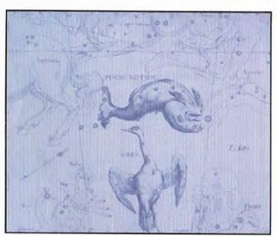
Muchas estrellas reciben su nombre de la posición que ocupan dentro de su constelación. Deneb, en la constelación del Cisne, significa «en la cola», porque la estrella se encuentra donde se imagina que está la cola del cisne celeste. Otras estrellas reciben nombres vinculados a ciertas peculiaridades. Es el caso de Régulo, en la constelación de Leo, así llamado porque se encuentra sobre la eclíptica, posición que le confiere una cierta importancia, y de ahí el atributo de «pequeño rey».

Otro ejemplo viene dado por la estrella Omicron, en la constelación de la Ballena, también conocida como Mira, nombre que en latín significa «maravillosa». El nombre se debe a la propiedad de la estrella de cambiar de luminosidad hasta el punto de hacerse invisible durante largos períodos.

La mayor parte de los nombres de las estrellas les fueron atribuidos en épocas antiguas, razón por la cual su origen es griego, latino o árabe (no es éste, sin embargo, el caso de Mira: el nombre se lo dio Johannes Hevelius a mediados del siglo XVII).

EL PAPEL DE LOS ÁRABES

Los árabes eran grandes conocedores del cielo y de los fenómenos que en él se producían. Además, gracias a ellos buena parte de la cultura clásica, especialmente de la antigua Grecia, pudo sobrevivir durante la Edad Media y ser redescubierta por el mundo occidental durante el Renacimiento. Entre las obras estudiadas por los árabes figura también el *Almagesto* de Tolomeo. La procedencia árabe de muchos nombres deriva de un proceso un tanto tortuoso: la traducción al árabe de la obra del gran astrónomo griego supuso también la traducción de los nombres y de la indicación de la posición de la estrella en la constelación de pertenencia. Cuando el *Almagesto* cayó en manos de los estudiosos occidentales, éstos, al traducirlo, dejaron inalterada la nomenclatura árabe de las estrellas. Por ello, éstas, en la mayor parte de los casos, mantienen el nombre que recibieron en la versión árabe.

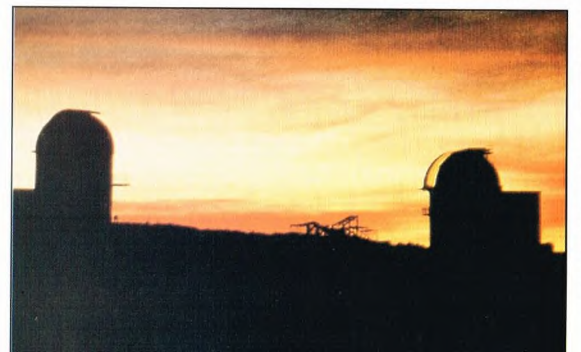


A menudo, los nombres antiguos se deben a la posición de la estrella en la constelación a la que pertenece. Así, la estrella más luminosa de la constelación del Pez del Sur se llama Formalhaut, que significa «la boca del pez»

LA OBRA DE BAYER Y FLAMSTEED. TIEMPOS MODERNOS, NUEVAS EXIGENCIAS

Sólo en tiempos más recientes se sintió la necesidad de asignar un nombre a todas las estrellas, o por lo menos a todas las estrellas visibles.

Gracias a Bayer (1572-1625) se elaboró un criterio para dar nombre a todas las estrellas del firmamento. Bayer indicó con la primera letra del alfabeto griego, alfa, la estrella más



Actualmente, los potentes medios de observación permiten determinar estrellas muy débiles; el trabajo de inventario se vuelve más arduo, obligando a los astrónomos a adoptar siglas menos poéticas que los nombres antiguamente atribuidos a los astros más luminosos.



El hombre observa el universo que le rodea desde la más remota Antigüedad; es más fácil individualizar una estrella si se le atribuye un nombre.

luminosa de cada constelación, seguida del genitivo de la propia constelación. Por ejemplo, la estrella más luminosa de Leo es Alfa *Leonis* (alfa de Leo); a la segunda, se le atribuía la segunda letra del alfabeto griego, beta, y así sucesivamente.

Naturalmente, de esta manera no se podía atribuir un nombre a todas las estrellas, ya que muchas constelaciones contenían un número de estrellas perceptibles a simple vista superior al número de letras del alfabeto griego. Una vez agotado el alfabeto griego, Bayer recurría al latino.

John Flamsteed (1646-1719) resolvió el problema asignando a cada estrella un número seguido del genitivo de la constelación; dentro de cada constelación se da el número 1 a la estrella de ascensión recta más baja, 2 a la siguiente, etc., hasta agotar las estrellas. Esta escala no se basa en la luminosidad sino en un orden de derecha a izquierda para quien contempla el cielo.

Con la revisión de los límites de las constelaciones realizada por la Unión Astronómica Internacional durante la primera mitad del presente siglo, algunas estrellas atribuidas antiguamente a una constelación pasaron a formar parte de otra vecina. No obstante, se decidió mantener los nombres históricos. Así, la estrella 10 *Ursae Majoris*, que como sugiere su nombre, formaba parte de la constelación de la Osa Mayor, pertenece en la actualidad a la vecina constelación del Lince.



Arriba, un antiguo grabado de 1515, de Alberto Durero, que representa las constelaciones del hemisferio norte, incluidas las zodiacales.

LA NOMENCLATURA DE LAS ESTRELLAS VARIABLES

El descubrimiento de estrellas que no tienen una luminosidad constante en el tiempo, sino que varían de un modo más o menos regular, impuso la necesidad de una nomenclatura que distinguiese estos astros extraños de los más normales.

Se decidió caracterizar las estrellas variables mediante letras latinas mayúsculas seguidas del genitivo de la constelación de pertenencia. No obstante, la primera estrella variable descubierta en una constelación no se designa con la letra A sino con la R, seguida de la S y así sucesivamente: la A se utiliza después de la Z. Una vez agotadas las letras del alfabeto, se vuelve a empezar con la RR, seguida de la RS y así sucesivamente.



A la izquierda, Atlas, copia romana del siglo II d.C. de un célebre modelo griego. El semidiós Atlas sostiene la esfera celeste sobre sus hombros.

LOS MODERNOS CATÁLOGOS ESTELARES

El uso de telescopios ha hecho necesaria la identificación de todas las estrellas detectables con estos medios más potentes. Por ello, se han elaborado catálogos que listan todas las estrellas visibles hasta una cierta magnitud. A esta familia pertenecen los catálogos HD y SAO. En ellos, toda estrella se identifica por las siglas del catálogo seguida de un número: la compañera visible de *Cygnus* X-1 es la estrella HD 226868.

Este método, sin duda, es un poco frío, mucho menos fascinante que el uso de nombres como Antares (rival de Marte) o Fomalhaut (la boca del pez), pero basta para identificar con precisión el objeto.

LAS CUATRO FUERZAS FUNDAMENTALES DEL UNIVERSO

Cuatro fuerzas gobiernan todos los sucesos del universo, desde la explosión de una estrella hasta la caída de una hoja.



El mundo natural y todo el universo conocido están gobernados por cuatro fuerzas fundamentales. La fuerza nuclear fuerte mantiene unidas las partículas subatómicas, mientras que la fuerza nuclear débil provoca la desintegración radiactiva de los átomos inestables. La fuerza electromagnética es responsable de la luz y la electricidad. La fuerza gravitacional mantiene unido todo el universo.

LA FUERZA UNIVERSAL

Muchos astrónomos creen que estas fuerzas estuvieron unidas en el momento del Big Bang; surgieron a la vez en forma de una única fuerza universal junto con temperaturas muy elevadas. Después del Big Bang, el universo primordial sufrió un período de enorme expansión y enfriamiento. Se formaron entonces tres fuerzas fundamentales: la gravitacional, la nuclear fuerte y la electrodébil. La temperatura del universo siguió disminuyendo y la fuerza electrodébil se subdividió a su vez, formando la fuerza nuclear débil y la fuerza electromagnética.

Todas las fuerzas se manifiestan a través de unas partículas especiales de intercambio que actúan como mediadoras en la transmisión de la fuerza de un punto a otro. Dos de las cuatro fuerzas, las fuerzas nucleares débil y fuerte, actúan a distancias microscópicas dentro de los átomos. Su radio de acción es muy reducido. El electromagnetismo y la gravitación, en cambio, actúan a una escala mucho mayor y a distancias bastante más elevadas.

LA FUERZA GRAVITACIONAL

La gravitación, o fuerza de atracción entre los objetos, es la fuerza dominante del universo. Toda partícula dotada de masa

Cuando un esquiador salta, la fuerza gravitacional terrestre lo atrae de nuevo hacia el suelo.

CÓMO SE FORMARON LAS CUATRO FUERZAS

Los científicos creen que en los primeros instantes del universo, cuando regían condiciones extremas, había una única fuerza. Apenas el universo se hubo enfriado y expandido, se desarrollaron las cuatro fuerzas actualmente conocidas y se formó la materia.

1. EL BIG BANG
En el momento del Big Bang, la temperatura, elevadísima, mantenía unidas las cuatro fuerzas

2. LA GRAVITACIÓN
Inmediatamente después del Big Bang, la temperatura cayó bruscamente y se formó la fuerza gravitacional

3. LA FUERZA NUCLEAR FUERTE
Cuando el universo empezó a enfriarse y a expandirse se formó la interacción nuclear fuerte

4. LA FUERZA ELECTROMAGNÉTICA Y LA FUERZA NUCLEAR DÉBIL
La temperatura siguió disminuyendo y se manifestaron las otras dos fuerzas. Las partículas subatómicas empezaron a unirse para formar los núcleos atómicos

produce un campo gravitacional que se extiende en todas direcciones. Cuando los objetos son pequeños, esta fuerza es muy débil; sólo se vuelve importante en objetos, como los planetas, las estrellas y las galaxias, dotados de una masa elevada. Los astrónomos deben tener en cuenta la fuerza gravitacional en todos sus cálculos, desde la puesta de un satélite en órbita hasta la medida de la densidad de una galaxia distante.

Isaac Newton fue el primero en describir los efectos de la gravitación en sus *Principia*, publicados en 1687. Newton demostró que la intensidad de la fuerza gravitacional depende de la masa de los cuerpos: la atracción gravitacional entre dos objetos es proporcional al producto de sus masas. Esto significa que si la masa de la Luna fuese doble, también se doblaría la fuerza gravitacional entre la Tierra y la Luna.

Los cálculos matemáticos de Newton demostraron además que la fuerza gravitacional entre dos objetos es inversamente proporcional al cuadrado de su distancia. Por tanto, si la Luna orbitase a una distancia doble de la Tierra, la fuerza gravitacional entre los dos cuerpos celestes se reduciría a un cuarto. Si la distancia Tierra-Luna se redujera a la mitad, la fuerza gravitacional sería cuatro veces mayor.

UNA POTENTE ATRACCIÓN

La gravitación difiere de las demás fuerzas en un importante aspecto: es siempre una fuerza de atracción. Pese a que mantiene unido todo el universo, la fuerza gravitacional ejercida por una partícula única es extremadamente débil. No obstante, un conjunto de partículas se comporta como una partícula única de gran masa; el Sol, por ejemplo, actúa como si fuera una partícula de masa enorme situada en el centro del astro. La fuerza gravitacional actúa a muy grandes distancias. Nuestra Galaxia, por ejemplo, presenta un diámetro de 100.000 años luz. No obstante, a causa de la atracción gravitacional, las estrellas que contiene orbitan alrededor del núcleo de la Galaxia.

LA FUERZA ELECTROMAGNÉTICA

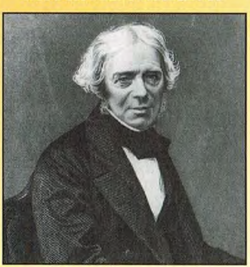
Como la gravedad, la fuerza electromagnética se extiende en todas direcciones. Esta fuerza la producen partículas eléctricamente cargadas, positiva o negativamente, presentes en el interior de los átomos. A diferencia de la gravedad, que siempre es una fuerza de atracción, la fuerza electromagnética puede ser repulsiva o atractiva, según que las partículas tengan cargas del mismo signo o de signo opuesto. La fuerza electromagnética mantiene los electrones unidos al núcleo del átomo, pero liga también los átomos entre sí formando moléculas. Esta fuerza de atracción entre los átomos también mantiene la cohesión de nuestros cuerpos. La fuerza

DATOS — LAS CUATRO INTERACCIONES FUNDAMENTALES

FUERZA	FUNCIÓN	PARTÍCULA
FUERZA GRAVITACIONAL	Responsable de la atracción entre la materia del universo. Causa la caída de las hojas de los árboles y mantiene los planetas en órbita.	Gravitón
FUERZA ELECTROMAGNÉTICA	Mantiene unidos los átomos. La crean las cargas eléctricas, que pueden ser positivas o negativas. Produce la luz y la electricidad	Fotón
FUERZA NUCLEAR FUERTE	Mantiene unidas las partículas subatómicas. Se manifiesta en los núcleos atómicos cuando se subdividen (fisión) o se unen (fusión). La fisión permite el funcionamiento de los reactores nucleares	Gluón
FUERZA NUCLEAR DÉBIL	Produce la desintegración radiactiva de los átomos inestables que genera calor dentro de la Tierra. Es responsable, pues, de la actividad termal natural que da origen a las fuentes calientes	Partículas W y Z

PERSONAJES

MICHAEL FARADAY



1791 - 1867

Físico y químico inglés que dedicó la mayor parte de su vida a la búsqueda de la relación entre la electricidad y el magnetismo. Esta investigación lo llevó a inventar la dinamo, el motor eléctrico y el transformador. Faraday introdujo los conceptos de campo eléctrico y magnético, que a partir de entonces ejercieron una profunda influencia en la astronomía y la física.

electromagnética produce electricidad y sus partículas mediadoras, los fotones, transportan energía en forma de ondas electromagnéticas. Sin esta fuerza sería imposible sentir el calor del Sol.

La fuerza electromagnética entre un par de partículas, como un electrón y un protón, es bastante mayor que la gravedad, pero el efecto a gran escala del electromagnetismo es bastante menor que el de la gravedad. Esto es debido a que las cargas positivas y negativas de la materia, consideradas en conjunto, se neutralizan entre sí.

Isaac Newton logró explicar el movimiento de cuerpos grandes, como el de los planetas alrededor del Sol, basándose exclusivamente en la gravedad. La fuerza electromagnética, en cambio, puede manifestarse sensiblemente en partículas pequeñísimas del sistema solar. Por ejemplo, la radiación electromagnética del Sol actúa sobre las partículas de polvo emitidas por un cometa creando una cola que se va alejando en dirección opuesta al Sol.

LA FUERZA NUCLEAR FUERTE

Pese a que la radiación nuclear fuerte es mucho más intensa que la fuerza electromagnética, su radio de acción es muy limitado, por lo que sus efectos difícilmente se extienden más allá del núcleo del átomo. La interacción nuclear fuerte mantiene unidos los protones y los neutrones que forman los núcleos atómicos. Sin la fuerza nuclear fuerte los protones del núcleo, caracterizados por una carga positiva, se repelerían y se alejarían unos de otros. En tales circunstancias, la materia, tal como la conocemos, no existiría.

REACCIONES NUCLEARES

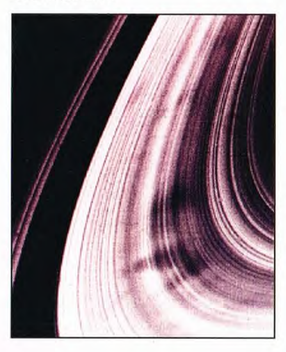
La fuerza nuclear fuerte es responsable de algunos de los más estremecedores sucesos del universo, desde las reacciones que tienen lugar dentro de una estrella hasta la explosión de una bomba nuclear. Ambos sucesos son reacciones nucleares, que tienen lugar en el interior del núcleo atómico. Cuando los núcleos de los átomos se subdividen (fisión) o se unen (fusión) durante una reacción nuclear, se libera la energía de enlace de la fuerza nuclear fuerte. El Sol pone en acción esta potente fuerza a través de la fusión nuclear, que funde 600 millones de toneladas de hidrógeno cada segundo formando helio y liberando una gran cantidad de energía.

Las sondas interplanetarias, como las de la serie Viking, han utilizado como propulsores pequeños reactores nucleares que obtienen energía de la desintegración de elementos radiactivos. Un gramo de uranio contiene un cantidad de energía un millón de veces mayor que un gramo de petróleo: cualquier otra forma de energía menos concentrada haría que la sonda fuera demasiado pesada para poder ser lanzada.

LA FUERZA NUCLEAR DÉBIL

La fuerza nuclear débil la describió por primera vez en 1934 Enrico Fermi (1901-1954). Es la fuerza de menor

Abajo, las líneas oscuras de los anillos de Saturno visibles en el ángulo inferior izquierdo se llaman rayos; la desviación de las partículas presentes en los anillos se debe a las fuerzas electromagnéticas.





Esta espectacular colada de lava debe indirectamente su existencia a la fuerza nuclear débil. En el núcleo terrestre, esta fuerza produce la desintegración radiactiva de los elementos; el calor desprendido provoca la fusión de las rocas en forma de lava.

A la izquierda, esta nube en forma de hongo demuestra la potente energía de enlace de la fuerza nuclear fuerte. Esta energía se libera cuando los átomos de una bomba atómica se unen entre sí en una reacción nuclear llamada fusión. El resultado del fenómeno es una potentísima explosión.

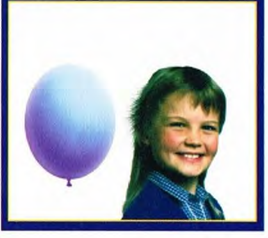
alcance de las cuatro (aproximadamente el tamaño de un protón o un neutrón), pero su nombre puede inducir a error. Aunque es menos intensa que las fuerzas nuclear fuerte y electromagnética, sus efectos a escala microscópica son mucho más intensos que los de la gravitación. Varios importantes procesos nucleares derivan de la acción de la fuerza nuclear débil. Uno de ellos es la desintegración radiactiva beta, como la que transforma un átomo de carbono 14 en nitrógeno 14.

Muchos científicos, como los geólogos y los arqueólogos, utilizan el conocimiento que tenemos de la tasa de desintegración radiactiva beta para datar con gran precisión la edad de objetos que contienen carbono 14. Esta técnica, llamada datación por el método del carbono 14, se utiliza para determinar la edad de muestras de materiales cuya antigüedad se remonta a cientos de milenios. La fuerza nuclear débil también es responsable de la actividad termal natural, como la de las fuentes calientes y de los géiseres. La desintegración radiactiva de los minerales presentes en las profundidades de la corteza terrestre provoca el calentamiento de las rocas, las cuales calientan a su vez el agua.

EXPERIMENTO

¿CÓMO CREAR ELECTRICIDAD ESTÁTICA?

La forma de electromagnetismo conocida como electricidad estática puede crearse fácilmente a partir del rozamiento de algunos objetos. Hinchad un globo, frotadlo con una tela acrílica y acercadlo a los cabellos. La fuerza de la electricidad estática atraerá los cabellos hacia el globo. El fenómeno se debe a que el rozamiento ha conferido una cierta carga eléctrica al globo. Al frotar este último con el tejido, se arrancan de los átomos los electrones débilmente ligados a los núcleos. Éstos pasan a la superficie del globo, que adquiere una carga eléctrica.



UNA TEORÍA DE TODO

La intuición de que las diferentes fuerzas de la naturaleza están conectadas entre sí se remonta a más de 150 años atrás. A mediados del siglo pasado, se conocían tres fuerzas diferentes: la electricidad, el magnetismo y la gravitación.
En 1845, Michael Faraday comenzó a probar que estas fuerzas estaban conectadas. Aunque su éxito fue parcial, la electricidad y el magnetismo acabaron unidos en el seno de la teoría electromagnética.
En los primeros años cincuenta de nuestro siglo, Steven Weinberg (1933) y Abdus Salam (1926-1996) empezaron a trabajar en la unificación de las fuerzas electromagnética y nuclear débil. La teoría resultante predijo con éxito el comportamiento de las partículas que transmiten la fuerza nuclear débil, las cuales fueron descubiertas en 1983.
Una teoría actual, la teoría de la gran unificación (GUT), propone la unificación de la fuerza nuclear fuerte con las demás fuerzas. En esta teoría sólo la fuerza gravitacional se mantiene aparte; no obstante, modernas teorías, entre la que destaca la teoría de cuerdas, van en pos de una teoría del todo. Actualmente, pues, los científicos esperan demostrar que las cuatro fuerzas son manifestaciones de una única fuerza fundamental que existió en los albores de nuestro universo.

¿PARA EL HOMBRE ES MUY DIFERENTE LA VIDA EN EL ESPACIO?

La confirmación de que el hombre puede vivir y trabajar lejos de la Tierra se obtuvo ya con los primeros vuelos espaciales de los años sesenta. ¿Pero cuánto tiempo se puede vivir en condiciones de ingravidez sin que el organismo sufra daños irreversibles? Esta pregunta permanece todavía sin respuesta.



Puede un ser humano vivir y trabajar en el espacio? La respuesta, clara y simple, la dieron ya los primeros vuelos espaciales y es indudablemente «sí». Los primeros vuelos Soyuz y Mercury, en efecto, demostraron que el hombre puede moverse libremente por el espacio realizando maniobras muy complejas. Luego, con la misión estadounidense Skylab y las rusas Salyut y MIR, se comprobó que el hombre puede vivir en el espacio durante meses y años. Las actuales misiones espaciales, y más aún las futuras, continúan necesitando al hombre para descubrir los grandes misterios del universo. Pero ¿cuánto tiempo puede permanecer el hombre en el espacio sin que su organismo sufra daños? Y después de largos períodos de ingravidez, ¿podrá el hombre regresar a la Tierra y vivir en ella normalmente? Estas preguntas no han recibido todavía una respuesta, ya que son necesarios largos y complejos experimentos para comprender cómo se comporta el organismo humano en el espacio. Tal será el objeto de las investigaciones de muchos vuelos espaciales.

LOS TRES FACTORES MÁS IMPORTANTES QUE HACEN DEL ESPACIO UN MEDIO DIFERENTE DE LA TIERRA

Aunque hay muchas características ambientales que hacen de la vida en el espacio algo muy diferente de la vida en la Tierra, hay tres que revisten especial importancia. Se trata de la atmósfera, las radiaciones y la gravedad.

• LA ATMÓSFERA

En la Tierra es necesaria una mezcla especial de gases para que la vida, tal como la conocemos hoy, sea posible.

Cuando respiramos, una cierta cantidad de oxígeno entra en nuestra garganta, es absorbida por nuestra sangre, viaja hasta las células y actúa como «combustible» para un sinnúmero de acciones. Pero para que podamos respirar, el aire debe tener una cierta presión, densidad y temperatura. Si tales valores cambiaran respecto a los hoy existentes, la respiración sería imposible. Pero en el espacio no hay atmósfera y ésta debe crearse dentro de las cápsulas o los trajes espaciales. Además, debe regularse la temperatura, que en el espacio está sujeta a variaciones extremas. Pero el espacio es extremadamente frío. Como se sabe, la temperatura es una medida de la energía y en el espacio abierto no hay virtualmente nada capaz de absorber calor del Sol e irradiar calor. La energía del Sol, en efecto, pasa libremente a través del espacio. Sólo cuando hay una masa presente en el espacio, como por ejemplo la Tierra, los demás planetas o una astronave, la energía puede absorberse y transformarse en calor. Si una estación espacial o un astronauta que esté fuera



La ingravidez es una experiencia que puede causar molestias al organismo humano. Pero superado el primer impacto, también se producen situaciones muy divertidas.



PROTEGIDOS POR UN TRAJE ESPACIAL

Los paseos espaciales requieren unos trajes que reproduzcan en su interior un microambiente terrestre. Estas prendas deben proteger al hombre de las fortísimas variaciones de temperatura, así como de las radiaciones solares y cósmicas, sin impedir que el astronauta se mueva libremente.

de su vehículo (por ejemplo, realizando actividades extravehiculares) se encuentra en la dirección de los rayos solares, puede absorber energía y calentarse mucho. Por ello, la astronave y el astronauta deberán protegerse con materiales apropiados para defenderse del sobrecalentamiento producido o del sobreenfriamiento que tendría lugar en ausencia de los rayos solares.

• RADIACIONES

La atmósfera terrestre sirve al hombre, entre otras cosas, de protección contra los rayos ultravioletas del Sol, que pueden dañar profundamente nuestro organismo, y contra las todavía más peligrosas radiaciones de otros tipos procedentes del espacio. Los científicos describen de distintas maneras la dosis de radiación de los rayos cósmicos. Las dos más usuales consideran simplemente la acumulación de radiación (cuya unidad de referencia es el Roentgen) o también el medio que la recibe. En general, se mide la cantidad de radiación que absorben los seres vivos en REM (Roentgen Equivalent Man). Por tanto, es posible comparar las distintas cantidades de variación absorbidas dando su valor en REM.

Como es evidente, los astronautas que permanecen largo tiempo en el espacio absorben dosis de radiación mucho más elevadas que los que viven normalmente en la Tierra. ¿Qué les

Arriba: el astronauta White durante el primer paseo espacial de la misión Gemini. Actualmente, los astronautas se mueven por el espacio sin cables que los sujeten a la nave.

DATOS

TIPO DE EXPOSICIÓN	REM
Circunnavegación del globo terrestre en avión	0,004
Un año en Houston TX	0,100
Dosis absorbida por los astronautas del Apolo 14 (misión a la Luna de 9 días)	11,400
Dosis absorbida por los astronautas del Skylab 4 (que orbitó a 490 km de la Tierra durante 87 días)	17,800
Radiación máxima permitida a un trabajador en EE UU	5,000
Radiación máxima permitida a la población en general	0,5

¿DÓNDE ESTÁN LAS RADIACIONES MÁS INTENSAS?

Una notable proporción de la dosis de radiación que los astronautas reciben durante los vuelos en órbita baja (del orden de unos 100 km) corresponde al paso por la Anomalía del Atlántico Sur (SAA). Se trata de un área de intensa radiación que se encuentra encima del océano Atlántico meridional, debida a una inusual situación de los cinturones de Van Allen en aquel lugar. Los cinturones de Van Allen se forman al interferir el viento solar con la alta atmósfera terrestre; muchas partículas ionizadas son capturadas por el campo magnético terrestre y, rebotando con las que todavía están presentes en la alta atmósfera, acaban por concentrarse en dos zonas (que según investigaciones confirmadas serían tres) a varios miles de kilómetros de la superficie terrestre. Estos cinturones tienen la propiedad de absorber las radiaciones procedentes del Sol. Los cinturones de Van Allen están centrados en el eje magnético terrestre, que está inclinado con respecto al eje geográfico. Por ello, encima del océano Atlántico meridional el cinturón más interno está muy próximo a la Tierra, hasta el punto de tocar la alta atmósfera. Cuando una astronave pasa a través de esta zona, llamada SAA, recibe una alta dosis de radiación porque está poco protegida contra los cinturones.



Una parte de las radiaciones cósmicas a las que los astronautas están expuestos procede de los cinturones de Van Allen. El problema será todavía más complejo cuando se realicen largos viajes hacia los planetas del sistema solar.

ocurrirá a los que se embarquen para largos viajes a Marte? Las radiaciones cósmicas son muy peligrosas porque pueden matar las células vivas, destruyendo sus enlaces químicos y su metabolismo.

• LA GRAVEDAD

Las dos primeras diferencias entre la vida terrestre y la vida en el espacio son poco advertidas por el hombre porque la temperatura adaptada a su supervivencia se reproduce dentro de las astronaves y de los trajes espaciales; asimismo, las dosis más o menos elevadas de radiación no son percibidas por los organismos vivos (a menos que se trate de dosis elevadísimas). Pero existe una diferencia entre la vida terrestre y la vida en el espacio que se experimenta de un modo más exasperante que las otras dos: la casi total ausencia de gravedad.

Cuando un astronauta, dentro de una astronave o en el vacío del espacio, cierra los ojos desaparece para él el sentido del «arriba» y el «abajo» tal como se vive normalmente en la Tierra; es como si perdiese la orientación del propio cuerpo. Muchos astronautas, cuando experimentan por primera vez esta sensación, sufren el mal del espacio, similar al mareo del mar o del automóvil. Sucede esto porque el cerebro humano está habituado a definir las distintas posiciones del cuerpo en relación al mundo circundante. A falta de estos parámetros, el astronauta puede sufrir también un profundo malestar, fuertes dolores de cabeza, náuseas –a veces acompañadas de vómitos–, unos síntomas que pueden dificultar mucho la realización del trabajo programado. Pero en pocas horas o pocos días el cerebro se acostumbra a la falta de referencias: aprende a vivir con la microgravedad. Los problemas, aunque de menor intensidad, se reproducen cuando los astronautas, después de un largo vuelo, vuelven a la Tierra, hasta el punto de temblar, por ejemplo, cuando dan sus primeros pasos sobre la superficie de nuestro planeta, sometida a la gravedad.

A la izquierda, el regreso de la tripulación de la cápsula Gemini, después de un breve vuelo espacial.

Abajo, fotografía de Robert Cabana, piloto del transbordador espacial Discovery, tomada en el momento en que se sujeta firmemente a la nave con el pie izquierdo para proceder a una filmación.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

SISTEMA TOLEMAICO Y COPERNICANO

ESTRELLAS Y GALAXIAS

EL DIAGRAMA H-R

GUÍA DE CONSTELACIONES

CAN MAYOR

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

EL TELESCOPIO

EL USO DEL ESPACIO

EL NACIMIENTO DE LA ESA

Las tapas intercambiables están ya a su disposición en todos los puntos de venta.



Estas tapas sirven para encuadernar dieciséis fascículos y van acompañadas de un juego completo de transferibles. De esta manera, usted mismo puede ordenar los volúmenes según van apareciendo. Basta colocar en el lomo el número que corresponda.